مقدمة فى

الجيوفيزياء التطبيقية

أ. د. / محمد رفعت عبد الله شريف






المقدمة

فى الأعوام الأخيرة تطور العلم تطورا مذهلا من ناحية التقدم فى أساسيات العلوم ونظرياتها أو فى تقدمها التكنولوجى فى سرعة إجراء الأبحاث لإنتاج الأجهزة العملية الخاصة بهذه العلوم وتطبيقاتها. ودخل بعد ذلك فى حلبة السباق العلمى أجهزة الحاسب الآلى وتطوراتها السريعة المذهلة وكل هذا كان باللغات الأجنبية، وافتقرت اللغة العربية لكل هذا لعدم وجود من يتابع الترجمة لكل هذا لكى نضع أولادنا على طريق البحث العلمى بلغتهم القوميه ولكى يكونوا منارا علميا حاضرا ومستقبلا، وكما فعلت معظم الدول سابقا كما حدث فى عصر النهضة بأوروبا حيث قام الغرب بترجمة كل ماوصل أيديهم من مؤلفات رواد العلم العرب إلى لغتهم، وكذلك فعلت الصين واليابان وأصبحت لكل دولة منهجها العلمى بلغتها.

وأتمنى أن يحظى هذا الكتاب (مقدمة فى الجيوفيزياء التطبيقية) رضاء السادة الزملاء والأبناء، وأكون شاكرا لأى تعليق يفيد فى إخراج طبعة أخرى، والله الموفق.

المؤلف

قائمة المحتويات

رقم الصفحة

رقم الصفحة

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

رقم الصفحة

الفصل السابع

الفصل الثامن

رقم الصفحة

الفصل التاسع

الفصل العاشر

الفصل الحادى عشر

الفصل الثانى عشر

رقم الصفحة

الملحقات والمراجع

الفصل الأول

1.1 رؤية عامة على طرق الجيوفيزياء: General view Geophysical Methods

تعريف:

الجيوفيزياء هي دراسة الأرض باستخدام الخواص الفيزيائية للصخور وهي تشغل موضعا هاما مع الجيولوجيا والجغرافيا فى علوم الأرض، هذا الموضوع يغطى فيزيائية الأرض ككل من أعماقها الداخلية إلى غلافها الغازى ولذلك فهو يشمل عدة أنظمة. وغالبا من المألوف عمليا ما نستخدم الجيوفيزياء لمعرفة محددة تشير للخواص الفيزيائية المطبقة لدراسة الجزء الصلب من الكرة الأرضية (بدون الغلاف المائى والغازى).

وعلم الجيوفيزياء حتى بمعناه المحدد يشمل عدة مجالات للدراسة:

1- علم شكل الأرض (المساحة التطبيقية والجاذبية) Geodesy and gravitation
يشير لشكل الأرض والمجال الجاذبى.

2- علم الزلازل (حركات القشرة الأرضية) Seismology
يشير إلى الزلازل والذبذبة الأرضية الأخرى (نتيجة التفاعلات الكيميائية والتفجيرات النووية).

3- علم المغناطيسية الأرضية والكهربيه الأرضية Geomagnetism and geoelectricity
يشير للمغناطيسية الأرضية والظواهر الكهربية.

4- علم الحرارة الأرضية Geothermometry.
يشير لانسياب الحرارة وتوزيع درجات الحرارة فى الأرض

5- علم الحركات الفيزيائية Tetconophysics:
يشير لوجهات النظر الفيزيائية الإقليمية وحركات الكرة الأرضية.

6- علم أصل الأرض Geolosmogony:
يشير لأصل الأرض.

7- علم التاريخ الجيولوجى Geochronology:
يشير لتحديد الأحداث فى تاريخ الأرض.

بالإضافة إلى ماسبق فهناك دراسة بعض المجالات الأخرى والتى تظهر كمعرفة عامة خاصة بالجيوفيزياء لها علاقة وارتباط أكثر بعلم الجيولوجيا وذلك مثل البراكين، المياه الأرضية والثلاجات وأهمية مجالاتها واضحة من أسمائها.

يتضح الآن أن أى محاولة لتحديد حدود الطرق الجيوفيزيائية المختلفة تكون عديمة الفائدة. وذلك بسبب التداخل الكبير حيث أن جميع طرقها تعتمد بدرجة كبيرة كل على بعضها البعض وعملها يكمل كل منه الآخر فى مجال علوم الأرض. مثال لذلك دراسة حرارة الأرض التى لاترتبط فقط بعلوم البراكين والزلازل والإشعاع ولكن ترتبط أيضا بعلوم تاريخ تكوين الأرض والحركات الطبيعية. ومثال آخر فإن موضوع الحركات الطبيعية الأرضية مرتبط تماما مع علوم الزلازل والحرارة الأرضية والبراكين والجاذبية ومغناطيسية الصخور ولايمكن دراستها كموضوع فردى.

وبالنسبة لعلم الجيوفيزياء نفسه لايمكن دراسته كنظام معزول مستقل. فالجيوفيزياء تمت من أنظمة الفيزياء والجيولوجيا ولايوجد حدود حاده تميزها عن الأخرى. وتعتبر الجيوفيزياء الفرع التطبيقى لعلم الفيزياء، ولكن فى دراسة المكونات المختلفة للأرض تشارك الجيوفيزياء مع الموضوعات العامة للجيولوجيا لفهم الكوكب الذى نعيش عليه.

تكون دائما اعتبارات الجيوفيزيائى القياسات الحقيقية للظواهر الطبيعية للأرض مثل الطاقة السيزمية، الجاذبية، المجال المغناطيسى، وهكذا، وتعتبر هذه الكميات الأساسية الواضحة للجيوفيزيائى. أما الجيولوجى فتكون اعتباراته مع الكيفية والدراسة الوصفية مع قياسات تختص بالسمك والميل لبعض تكوينات سطحية معينة بالإضافة لعمل تركيبات تحت سطحيه من نتائج حفر الآبار.

وتوجد اليوم اجتهادات مميزة جعلت التعاون بين الجيولوجيين والجيوفيزيقيين أفضل، وهذا الاتجاه ظاهرا فى البحث الجيوفيزيقى عن البترول حيث الغالبية العظمى من جيولوجيى البترول يقومون ببذل الجهد فى استخراج كمية المعلومات من النتائج الجيوفيزيقية مثل قطاعات التسجيلات السيزميه وتسجيلات الآبار الكهربائية وغيرها، وبالمثل فإن الجيوفيزيقيون الذين يعتمدون على قياسات الظواهر الجيوفيزيقية يندمجون اليوم أكثر مع الجيولوجيا لكى تزيد قدرة استنتاجاتهم.

يقوم علم الجيوفيزياء فى الوقت الحاضر بالاشتراك الهام فى عمليات البحث عن الثروات المدفونة من خامات ومعادن اقتصادية ورواسب هيدروكربونيه (بترول وغاز)، وكذلك المياه الجوفيه، ومشاركته الفعالة حديثا فى الجيولوجيا الهندسية والبحث والتنقيب عن الآثار. وتتم هذه العمليات بقياس الخواص الفيزيائية المختلفة للصخور (جاذبية، مغناطيسية، سيزمية ... إلخ) على سطح الأرض ثم تحويل نتائج هذه القياسات لمعلومات جيولوجيه مفيدة. والصورة الجيولوجية المناسبة المشتقة من هذه الطرق تحتاج لطريقة تطبيقية للخواص الفيزيائية السابقة أكثر من غيرها تبعا لنوعية النتائج ومهارة العرض والتفسير. وتزيد الآن تطبيقات الطرق الجيوفيزيائية فيما يتعلق بتفسيرات التلوث والتى توضع تحت الملاحظة وتسمى هذه الجيوفيزياء البيئية وتعرف كالآتى: "هى الطرق الجيوفيزيائية التى تفسر الظواهر الفيزيوكيميائية القريبة من السطح والتى يكون لها تطبيقات لإدارة البيئة المحلية".

كذلك فإن القياسات الجيوفيزيائية الموجودة لدينا الآن تقدم المعلومات للدراسات الجيولوجيه عن تركيب وتكوين باطن الأرض، وأيضا عن الأعماق المحدودة التى وصلت إليها الآبار والمناجم.

ويرتبط علم الجيوفيزياء بالعلوم الأساسية الأخرى مثل الفلك، الرياضة، الفيزياء، الجيولوجيا والكيمياء. وايضا تعتمد التقنيات المختلفة لطرق الجيوفيزياء على أساسيات الفيزياء، فمثلا تعتمد على قانون الجاذبية الأرضية، القابلية المغناطيسية، كذلك قوانين الإنعكاس والإنكسار الضوئى (المطبقة فى الطرق السيزمية)، وعناصر الكهربية وقوانين الإشعاع، وأيضا النظريات الكهرومغناطيسية والردار.

ونجد أن الجيوفيزياء دخلت مجال الكشف عن بعض الخامات منذ فترة طويلة حيث اكتشفت المعادن الحديدية بواسطة البوصلة المغناطيسية منذ عام ١٦٠٠، ثم استجابت الجيوفيزياء للضغوط الملحة لإيجاد قدرات جديدة علمية واقتصادية، ففى القرن الماضى استخدمت بعض الأجهزة الخاصة فى استكشاف المعادن وأدلت بدلوها الجيد فى الكشف عن البترول منذ عام ١٩٢٤، وبخلاف المناطق التى تستكشف لأول مرة فإن معظم المسح الجيوفيزيائى تجرى على مناطق سبق أن فشلت فيها أعمال المسح بسبب عدم دقة الأجهزة وطرق المسح أو طرق التفسير، وكلما زاد التقدم فى تطوير الأجهزة وتطوير نتائج المسح زادت الاكتشافات المفيدة.

وقد زاد تطور علم الجيوفيزياء مع الثورة الفنية التى أعقبت الحرب العالمية الثانية وساهم ذلك مساهمة كبيرة فى عمليات الاستكشاف الجيوفيزيائى وكذلك بعض الأجهزة مثل الحاسبات الإلكترونية ووسائل تجهيز المعلومات، الأقمار الصناعية. واستخدم كل هذا التطوير للطرق الجيوفيزيقية للبحث عن البترول والمصادر الطبيعية الأخرى سواء فى المناطق الأرضية المأهولة أو المناطق الأرضية الغير مأهولة من صحراء وغابات وخلافه، ثم امتدت لتشمل البحار والمحيطات والصحارى الجليدية القطبية.

2.1 أقسام علم الجيوفيزياء:

ينقسم علم الجيوفيزياء لثلاثة أنواع:

1- الجيوفيزياء النظرية: وتختص بدراسات واستنتاجات المعادلات الرياضية المدعمة بالمدلولات الفيزيائية واستخدامها بعد ذلك فى الجيوفيزياء التطبيقية.
2- الجيوفيزياء الهندسية: تختص بتصميم الأجهزة المستخدمة فى القياسات الجيوفيزيائية.
3- الجيوفيزياء التطبيقية: تختص بقياسات الخواص الفيزيائية المختلفة للصخور على سطح الأرض وباستخدام المعادلات المستنتجة من الجيوفيزياء النظرية يمكن تحويل نتائج هذه القياسات لمعلومات جيولوجية مفيدة.

3.1 طرق التنقيب الجيوفيزيائى:

جميع الطرق الجيوفيزيائية المستعملة فى البحث والتنقيب عن البترول والخامات المعدنية والمياه الجوفيه والمتطلبات الحديثة لتطبيقات الجيولوجيا الهندسية والبحث عن الآثار تعتمد على أساسيات الفيزياء. وأهم الخواص الفيزيائية للصخور التى تستخدم فى الاكتشافات الجيوفيزيائية هى المرونة elasticity، الكثافة density، القابلية المغناطيسية magnetic susceptibility، المغناطيسية المتبقية remanent magnetization، المقاومة أو التوصيل الكهربى electric resistivity or conductivity، الاشعاع radioactivity، التوصيل الحرارى thermal conductivity واستخدمت هذه الخواص لاستنباط الطرق الجيوفيزيقية والتى تعتمد أساسا على عدم الاستمرارية لهذه الخواص من منطقة لأخرى، وستقسم الطرق الجيوفيزيائية تحت عناوين أساسية:

1- الطرق الاهتزازية	Seismic methods
2- طريقة الجاذبية	Gravity method
3- طريقة المغناطيسية	Magnetic method
4- المغناطيسية القديمة	Paleomagnetic method
5- طرق الكهربية	Electrical methods
6- طرق كهرومغناطيسية	Electromagnetic methods
7- طرق الردار	Radar methods
8- طرق الإشعاع	Radiometric methods
9- طرق الحرارة الأرضية	Geothermal methods
10- تسجيل الأبار	Well logging

وتعتبر الدراسات الجيوفيزيائية كمية واضحة بالمقارنة بالدراسات الجيولوجية والتى تتميز بالكيفية والكمية والوصف. وربما هذا الخط الواضح بين النظامين يدمج كمحاولة مميزة ليصبحا أكثر اتفاقا ونفعا. وهذا الاتجاه واضح تماما فى البحث والتنقيب بالطرق الجيوفيزيائية ويظهر ذلك بوضوح فى البحث والتنقيب عن البترول والثروات المعدنيه حيث المعلومات الجيولوجيه والفيزيائية تزيد القدرة على الاستنتاج.

ويوضح الجدول رقم (1-1) قواعد الطرق الجيوفيزيائية بخواصها الطبيعية وعلاقتها باستعمالها الأساسى ويستخدم هذا الجدول كمرشد.

وفيما يلى استعراض للطرق الجيوفيزيائية:

1.3.1 الطرق الاهتزازية والسيزمية:

وتنقسم هذه الطرق لطريقتين كبيرتين:

(i) اهتزاز طبيعى (الزلازل):

تحدث من الطاقة الناتجة من البراكين والفوالق والانزلاقات الأرضية والتى تظهر فى صورة موجات اهتزازية (زلزالية) وتختص هذه الموجات أساسا بدراسة التركيب الداخلى للأرض وطبيعة مكوناتها الصخرية.

(ii) الاهتزازات (سيزمية) الصناعية:

وتنتج من تفجيرات صناعية كالديناميت، بندقية الهواء (فى البحار والمحيطات)، اصطدام الأثقال بالأرض.

وينقسم استخدام طاقة هذه الموجات السيزمية الصناعية إلى طريقتين:

جدول (1-1)

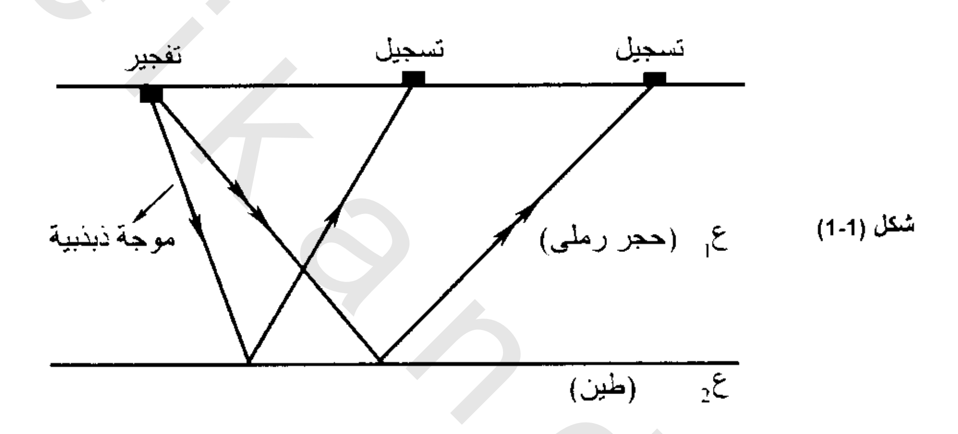
الطريقة الجيوفيزيائية	الخاصية الفيزيائية المعتمدة عليها	تطبيقاتها									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
الجاذبية	الكثافة	أ	أ	ت	'	'	'	إ	إ	ث	إ
المغناطيسية	القابلية المغناطيسية	أ	أ	أ	ث	إ	م	إ	أ	أ	إ
الانكسار السيزمى (هزات انكسارية)	ثوابت المرونة، الكثافة	أ	أ	ث	ث	ث	م	إ	إ	إ	إ
الإنعكاس السيزمى (هزات انعكاسية)	ثوابت المرونه: الكثافة	أ	أ	م	أ	ث	ث	إ	إ	إ	إ
المقاومة الكهربية	المقاومة الكهربية	م	م	أ	أ	أ	أ	أ	ث	أ	ث
الكهربية الذاتية	اختلاف الجهد	إ	إ	ا	م	ا	م	م	م	إ	إ
الاستقطاب الذاتى	المقاومة والسعة الكهربية	م	م	أ	م	ث	م	م	م	م	م
الكهرومغناطيسية	التوصيل الكهربى والحث الذاتى	ث	أ	أ	أ	أ	أ	أ	أ	أ	م
الكهرومغناطيسية (موجات ذات ترددات منخفضة (VLE)	التوصيل الكهربى والحث الذاتى	م	م	أ	م	ث	ث	ث	م	م	إ
الكهرومغناطيسية (ردار اختراق أرضى)	معامل التوصيل، معامل السماحية	إ	إ	م	أ	ا	أ	ث	أ	أ	أ
المغناطيسية، الكهربية الأرضية (Telluric)	المقاومة الكهربية	ث	أ	أ	م	م	إ	إ	إ	إ	إ

أ- الطريقة الأساسية، ث = الطريقة الثانوية، م = ربما تستخدم ولكن ليس ضروريا لأحسن تقدم أو ليست أحسن تطور لهذا التطبيق، إ = غير ملائم

1- التفتيت الهيدروكربونى (فحم – غاز – زيت)
2- دراسات اقليمية جيولوجية (عبر مساحات أكبر من 100 كم²)
3- تنقيب وتطوير معدنى
4- تفسيرات مواقع هندسية
5- تفسيرات هيدروجيولوجية
6- اكتشاف كهوف تحت سطح الأرض
7- تخريط الماء المتداخل والمواد الملونة
8- تحديد مواقع الأشياء المعدنية المدفونة
9- الجيوفيزياء الأثرية
10- تطبيقات الجيوفيزياء لقانون البيئة

أ) طريقة الانعكاس الاهتزازى (السيزمى) Seismic reflection method:

فى هذه الطريقة يخرط التكوين التحت سطحى بقياس الزمن اللازم لموجه ذبذبية مولده فى الأرض من انفجار قريب من السطح (ديناميت – صدمة اليد – هزه) لتعود إلى السطح بعد انعكاسها من السطح الفاصل بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة (شكل ١-١). وتوضع أجهزة التسجيل على سطح الأرض على أبعاد صغيرة من نقطة التفجير التى تكون عادة أقل من سمك الطبقة العاكسه. والتغير فى أزمنة الانعكاس من مكان إلى آخر على سطح الأرض توضح الظواهر التركيبية للطبقات السفلى. وهذا يتم باستخدام معلومات السرعة إما من الإشارات المنعكسة نفسها أوتسجيلات سرعات الأبار السابقة فى المنطقة. وتستعمل أيضا معطيات الإنعكاس لتحديد الخصائص الصخرية.



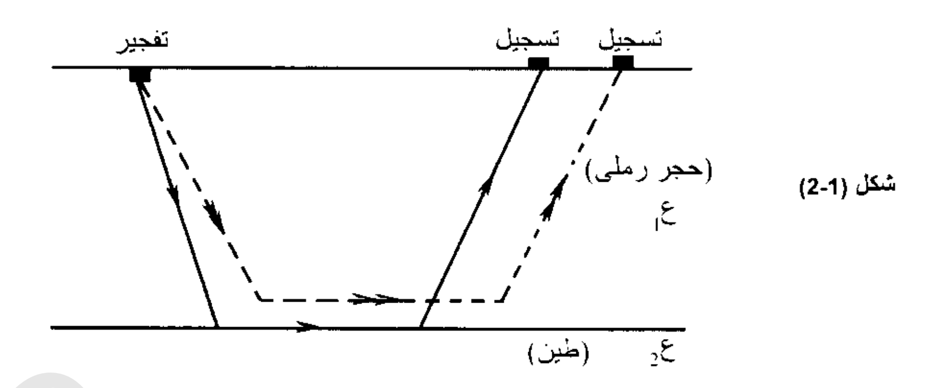
شكل (1-1)

هذه الطريقة من أدق الطرق لتقديم صورة تركيبية لما هو تحت السطح، وقدمت قطاعات تسجيل الانعكاسات الحدثة تشابه كبير فى مظهرها للقطاعات الجيولوجيه ومن الملاحظ أن الاستكشاف الناجح للمصائد البترولية بهذه الطريقة يتطلب تنسيق جيد المهارة للمعلومات الجيولوجيه والسيزمية الانعكاسية.

ب) طريقة الإنكسار الاهتزازى (السيزمى): Seismic refraction method

فى هذه الطريقة فإن أجهزة كشف الموجات السيزمية توضع على مسافة كبيرة من نقطة التفجير بالمقارنة بعمق المستوى المطلوب. ولذلك فإن موجات التفجير تسير لمسافات أفقية طويلة خلال الأرض (شكل 1-2). وتدل اختلافات تسجيل الزمن فى أماكن التسجيل المختلفة على تركيبات التكوينات.

وتمد هذه الطريقة الجيوفيزيائى بنتائج سرعات تسمح له بالتعرف على شكل طبقات الإنكسار ومعرفة خصائص الصخور. وهذه الطريقة مهمة للتراكيب التى لها سطوح ذات سرعات عاليه مثل قمة صخور القاعدة والحجر الجيرى وهذه الطريقة مفيدة جدا فى الطبقات الملحية ذات السرعات الكبيرة عن الطبقات المحيطة بها، وتستخدم أيضا فى تجديد رميات الفوالق فى التكوينات ذات السرعات العالية. وبرغم مميزاتها فإنها تستخدم أقل من طريقة الإنعكاس فى الاستكشافات البترولية لاحتياجها لكميات أكبر والعمل الأكثر ودرجة أقل فى الدقة.



شكل (2-1)

2.3.1- طريقة الجاذبية Gravity method:

تعتمد هذه الطريقة على التغير فى كثافة الصخور والمعادن، والصخور الأكثر كثافة لها شد جاذبى أكبر، ولذلك فإن البحث بهذه الطريقة يعتمد على التغير فى الشد الجاذبى الناتج من اختلاف كثافات الصخور، وكذلك تعتمد على الأعماق من سطح الأرض، فمثلا إذا كانت توجد طيه محدبه فإن مجال الجاذبية فوق محور التركيب أكبر منه على طول الجوانب وبالعكس، ومجال الجاذبية فوق القبه الملحيه يكون أقل من الصخور التى اخترقتها. وشذوذ الجاذبية التى يتم الحصول عليها فى استكشافات الخامات والبترول تمثل فقط أجزاء من المليون أو حتى عشرة ملايين من القيمة الكاملة للمجال الجاذبى الأرضى، ولهذا فإن أجهزة هذه الطريقة مصممة بحيث تقيس التغير فى قوة الجاذبية من مكان لآخر أكثر من قياس المجال المطلق للجاذبية.

هذه الطريقة مفيدة فى تحديد الأحواض الرسوبيه حيث هناك تباين بين كثافتها وكثافة صخور القاعدة وكذلك معرفة أماكن الأجسام الملحية حيث أنها ذات كثافة أقل من الصخور المحيطة بها ويمكن استخدامها أيضا فى معرفة أماكن المعادن الثقيلة مثل الكروميت. ويلاحظ أن نتائج هذه الطريقة يحيط بها الغموض فى التفسير أكثر من الطرق السيزمية وذلك لأنها من الممكن أن تعطى قيم متساوية لكتل مختلفة ولانقشاع هذا الغموض فإنه يضاف إليها بعض المعلومات الجيولوجية والجيوفيزيائية الأخرى.

3.3.1- طريقة المغناطيسية Magnetic Method:

تعتمد هذه الطريقة على قياس التغير فى المجال المغناطيسى للأرض والذى يرجع إلى التغير فى القابلية المغناطيسية للصخور المختلفة وأيضا إلى التغير فى التراكيب الجيولوجيه. ومن الملاحظ أن الصخور الرسوبية لها قابلية مغناطيسية أقل من الصخور النارية والمتحوله وأكثر المسح المغناطيسى استخدم لتخريط عمق صخور القاعدة أو لكشف المعادن المغناطيسية، واستخدمت فى مجال البترول لتحديد الوضع التركيبى الرسوبى فوق صخور القاعدة. وتطورت أجهزة المسح المغناطيسى لتشمل مسح أرضى وجوى وبحرى. وعادة مايستخدم المسح الجوى والبحرى فى الاستكشافات البترولية. وتستخدم هذه الطريقة فى الاستكشافات التعدينية للتعرف على خامات ومعادن ذات قابلية مغناطيسية كبيرة مثل المجنيتيت، وكذلك مواضع السدود والعروق ذات القابلية المغناطيسية المختلفة عن ماحولها من الصخور. وللتفسير المضبوط لهذه الطريقة فإنها تحتاج لمعلومات جيولوجيه وجيوفيزيائية أخرى.

4.3.1- طريقة المغناطيسية القديمة Paleomagnetic Method:

تتضمن هذه الطريقة دراسة المغناطيسية الطبيعية المتبقية للصخور لكى نتعرف على مجال المغناطيسية الأرضية فى الأزمنة الجيولوجية. وتعتبر هذه الطريقة مجال جديد فى علم الجيوفيزياء وأمدتنا بمعلومات عن تاريخ المجال المغناطيسى الأرضى وشاملة إنعكاس القطبين، ومن أهم تطبيقات هذه الطريقة إمدادها ببراهين كمية عن نظريات إزاحة القارات continental drift، إنفراج قاع المحيط sea-floor spreading وحركة الألواح plate tectonics. وفى السنوات الأخيرة زاد إستخدام المغناطيسية القديمة كأداة فى دراسة التركيبات والترابطات لبعض المشاكل والجيولوجيا المحلية.

5.3.1- الطرق الكهربيه Electrical Methods:

تستخدم هذه الطرق للكشف عن الشذوذ فى الخواص الكهربيه للصخور (معامل التوصيل، الجهد الذاتى، الحث الذاتى والمقاومة). من هذه النتائج يمكن تحديد معادن لها خواص كهربيه مميزة أو لعمل خرائط تركيبية مصاحبة للتجميعات البترولية أو التعدينية أو المياه الجوفية.

1.5.3.1- الطرق الكهربية الذاتية:

أ) طرق كهربية ذاتية كيميانية:

تعتمد هذه الطريقة على النشاط الإلكتروكيميائى والتى تنتشر فى عدة مساحات وخاصة الحاوية على الكبريتات والعناصر ذات البريق العالى، حيث أنها جيدة التوصيل الكهربى وبالتالى فلها مقاومة نوعية قليلة. وتعمل الكبريتات كعناصر بطارية إذا كان جزء منها أسفل مستوى الماء الجوفى(مالح نوعا ما) كقطب موجب والجزء الآخر فى المنطقة الهوائية كقطب سالب.

ب) الكهربيه الأرضية Telluric Current:

يكون المصدر الكهربى لهذه الطريقة هو التيار الكهربى الأرضى بدلا من التيار المتولد صناعيا ويبعث فى داخل الأرض، ويوجد هذا المصدر على مقياس كبير داخل الأرض نتيجة للتغير اليومى المغناطيسى ولذلك فإنه يستمر لفترات قصيرة، ويختلف هذا التيار جغرافيا ويوميا وموسميا. ومن التطبيقات الهامة لهذه الطريقة هو إستخدامها لاكتشاف أحواض الترسيب.

2.5.3.1- طريقة المقاومة الكهربية Resistivity Method:

هذه الطريقة صناعية وفيها يبعث بتيار فى داخل الأرض من خلال قطبين ثم يقاس الجهد الخارج بقطبين آخرين وبهذه الطريقة يمكن معرفة نوعية الصخور المار بها التيار، وكذلك عمق الطبقات.

6.3.1- طريقة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Method, EM:

هذه الطريقة واحدة من الأساليب الكهربيه التى تستخدم على نطاق واسع فى استكشافات المعادن وتعتمد على حث التيارات الكهربيه فى الموصلات المدفونة (مثل بعض الخامات والمعادن) بواسطة المركبات المغناطيسية للموجات الكهرومغناطيسية التى تتولد على سطح الأرض والناشئة من بث تيارات مترددة (من عدة

هيرتز إلى عدة ميجاهيرتز) فى ملفات أو فى سلك على الأرض أو فى الهواء بطرق معينة. وتتولد عن هذا مجالات مغناطيسية مترددة تمتد كموجات داخل الأرض وتختلف هذه الموجات تبعا لمعدل التردد، وعندما تنفذ هذه الموجات فى الصخور، فإذا كان الجسم الصلب موصلا كهربيا، ففى هذه الحالة يحدث حث تيارات كهربيه مترددة فى المواد الموصلة وتصبح هذه التيارات مصدر جديد لموجات كهرومغناطيسية والتى يمكن الكشف عنها بواسطة ملفات لاقطة مناسبة. وتستعمل هذه الطريقة لتحديد مكان المعادن المدفونة والألغام العسكرية.

7.3.1- طريقة التنقيب الإشعاعى Radioactivity Prospecting Method:

إكتشاف الإشعاع يتم بعداد جيجر Geiger counters أو عداد الومضات scintillation counter. وقد اكتشفت كميات كبيرة من اليورانيوم عن طريق الطيران بعداد الومضات. وتعتبر هذه الطريقة من أقل طرق الاختراق حيث يمتص الإشعاع لأقل من ٣ قدم فوق المصدر.

8.3.1- طريقة الحرارة الأرضية Geothermal Method:

يعتقد أن المصدر الأساسى لطاقة الحرارة فى داخل الأرض ناتج من اضمحلال المواد المشعة إلى النظائر. وهناك مصدر آخر للحرارة ناتج عن عمل الجاذبية فى تجميع وضغط الجسم من مكونات صغيرة. وتنتقل الحرارة تدريجيا من داخل الأرض للسطح، وعن الأمثلة الممثلة هى البراكين والعيون الساخنة. وخروج الحرارة من داخل الأرض إما أن يكون مباشر أو غير مباشر، كما تنطلق من عمليات تغيرات جيولوجيه والتى لها علاقة بالحركات التكتونيه ونشاط الصخور الناريه والمتحوله. وفى السنوات العشر الأخيرة فإن الدراسات الموسعة لانسياب الحرارة من داخل الأرض أمدتنا بمعلومات عن خواص الحالة الحرارية الإقليمية الواسعة تحت الظواهر الجيولوجية الكبيرة للقارات والمحيطات. وهذه المعلومات ذات أهمية خاصة لنظريات تيارات الحمل الحرارية فى الستار والذى على أساسه تقارب ترابط نظريات إزاحة القارات، إتساع قاع المحيطات (إنفراج قاع المحيط) وحركة الألواح. وعلى المستوى المحلى تستخدم القياسات الحرارية (الشواذ الحرارية الخاصة) لتقديم أوضاع التركيبات مثل القبب الملحية الضحلة، الطيات المحدبة، الفوالق، الشقوق وغيرها. بالإضافة إلى أن قياسات الحرارة فى الآبار تستخدم فى مضاهات الطبقية الاستراتيجرافية.

9.3.1- موجات الردار Waves of Radar:

شاعت وانتشرت طريقة اختراق الردار الأرضى ground pentrating radar (GPR) فى منتصف العقد ١٩٨٠ خاصة خلال الأعمال الهندسية والأثرية (حيث أنها تخترق أعماق أرضية لعدة أمتار)، واستخدم الردار أيضا للتطبيقات الجيولوجيه خاصة فى ارتباطها لتصوير صدى موجات الردار لأقطاب ألواح الثلوج. وقسمت هذه الطريقة لقسمين مميزين على أساس تردد الإستشعار الأساسى. فبالنسبة للتطبيقات الجيولوجية تكون الترددات الاستشعارية أقل من 500 ميجاهرتز حيث المطلوب فى هذه الحالة هو اختراق العمق أكثر من التحليلات الدقيقه التى تتطلب ترددات استشعارية أكبر من 500 ميجاهرتز ومن تطبيقات هذه الطريقة هى:

1- الكشف عن الكهوف الطبيعية
2- خرائط الهبوط والإنخساف
3- خرائط الأجسام الرملية
4- تخريط الرواسب السطحية
5- خرائط طبقات التربة
6- تفسير الثلاجات الجيولوجيه
7- التنقيب المعدنى وتقدير مصدرها
8- الأعمال الهندسية والإنشائية
9- الدراسات البيئية
10- البحث والتنقيب عن الآثار

10.3.1- تسجيل الآبار Well Logging:

من الطرق التى تستعمل على نطاق واسع وذلك بعمل جسات أرضية بأجهزة تهبط داخل الآبار وتسجل نتائجها على السطح أثناء صعودها لأعلى. ومن بين الخواص الصخرية دائمة التسجيل هى:

1- المقاومة الكهربية
2- الكهربيه الذاتية
3- توالد أشعة جاما (سواء كان طبيعيا أو صناعيا بواسطة قذف الصخور بالنيترونات)
4- الكثافة
5- القابلية المغناطيسية
6- السرعات السمعية
7- التدرج الحرارى

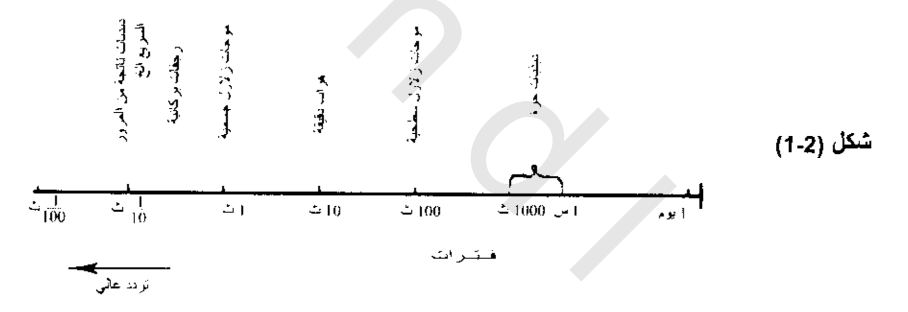
كثير من هذه التسجيلات يستخدمها الجيولوجيين باتساع أكثر من أى نتائج جيوفيزيانيه أخرى.

الفصل الثانى

الطرق الإهتزازية Seismic Methods

1.2 مقدمة Introduction:

هذه الطرق من أهم الطرق المتقدمه من فروع الجيوفيزياء، وفى الحقيقة بدأ علم السيزمولوجى كعلم للهزات الأرضية (الزلازل) وتعنى كلمة seismos باليونانية بالهزه، وذلك لدراسة وتأثير أغلب الظواهر الطبيعية للكوارث الأرضية. وحاليا ربما يغطى دراسة هذا المجال الأنواع المختلفة للحركات الأرضية من أكبر موجات هزه أرضية إلى أقل نبضات هزيه موجودة فى كل زمان، ويحاط مدى التردد كإتساع طيفى يغطى أعلى تردد ذبذبى أكبر من 100 سم/ث إلى أقل حركة بطيئة لفترة* ساعة أو أكثر. ولهذا فإن الإتساع الطيفى للحركات الزلزالية تمثل المدى الزلزالى ويدل على أنواع مختلفة من الحركات الأرضية كما فى شكل (2-1).



شكل (2-1)

وعلى العموم فإن الطرق السيزمية تقسم إلى قسمين كبيرين يعتمد على طاقة مصدر الموجات السيزمية، أحدهما يدرس موجات الهزات الأرضية (الزلازل) لاستنتاج الخواص الطبيعية والتركيب الداخلى للأرض ويسمى هذا علم الزلازل earthquake seismology، والآخر تتولد الموجات السيزمية فيه بواسطة تفجيرات صناعية عند مواقع مختارة للحصول على معلومات عن تركيبات إقليمية أو محلية وتسمى هذه الطريقة الاستكشاف السيزمى explosion seismology، مع ملاحظة أن طريقة المراقبة (الملاحظة) لكلا الطريقتين فى مجالات تطبيقاتهما تظهر تداخل أو تراكيب بينهما، فمثلا التحكم بدقة فى التفجير النووى له قيمة فى استنتاج تفصيلات دقيقة عن التركيب الداخلى للأرض، بينما الموجات الزلزالية السطحية تشارك كثيرا فى دراسة تركيب القشرة الأرضية. والتطور السريع لأجهزة قياس أى طريقة سواء للهزات الأرضية أو للهزات الصناعية تؤدى إلى تقدم موازى للطريقة الأخرى لاستعمالها.

* يوخذ الزمن لدورة واحدة كاملة.

تعتبر الموجة السيزمية أساس للاستكشاف السيزمى ولإستنتاج المصطلحات الجيولوجية منها، لذلك يجب معرفة المبادئ الأساسية الفيزيائية التى تتحكم فى خواص إنتشارها، مثل تولدها وإنتقالها وإمتصاصها وتخفيفها فى المواد الأرضية وكذلك خواص انعكاسها وإنكسارها وحيودها، ويمكن القول بأن الموجات السيزمية هى موجات مرنة لأنها تسبب تشوه فى الماده التى تنتشر خلالها وهذه التشوهات تتكون نتيجة ضغوط وتمددات متبادلة نتيجة لتحرك الجزيئات فى المادة قربا أو بعدا عن بعضها البعض. وبالإضافة للمهمة الأساسية للطرق السيزمية فى إكتشاف المواد الهيدروكربونيه فإن الجدول الآتى يبين عدة تطبيقات أخرى.

جدول (2-1) المعلومات المستخدمة وتطبيقات الكشف السيزمولوجى

معلومات بتروفيزيائية	الظواهر الجيولوجيه	تطبيقات أخرى
1- ثوابت المرونة	1- عمق صخور الأساس	1- تفسيرات المواقع الهندسية
2- الكثافة	2- تحديد مناطق الفوالق والكسور	2- خواص الصخور
3- التوهين (التخفيف)	3- إزاحة الفوالق	3- مصادر الرمل والحصى
4- المسامية	4- تحديد الأودية المدفونة وخوصها	4- إكتشاف الكهوف
5- سرعة الموجات المرنة	5- تحديد خواص الصخور	5- تحديد الطبقة الأساسية فى البحار (لوضع أبراج الحفر)
6- عدم الإتجاهية	6- تحديد الطبقات الجيولوجية المختلفة	6- تحديد الماء والغاز المزال من الرسوبيات البحرية
	7- تحديد سدود الصخور النارية الأساسية	7- مواقع الإنهيارات الأرضية الجديدة
		8- اكتشاف المياه الجوفيه
		9- سرعة الجزيئات الأرضية
		10- تحديد مواقع الإنشاءات (المبانى الضخمة – إنشاء الأنفاق)
		11- تحديد مواقع المطارات والممرات بها
		12- مواقع إنشاء المفاعلات النووية
		13- تحديد الخنادق الكبيرة للأسلحة الحربية

2.2 أساسيات انتشار الموجه السيزمية Fundamental of Seismic Wave Propagation:

حيث أن هذه الموجه تنتشر فى أوساط مرنة فلمعرفة سلوك هذه الموجه التى تسير فى هذه الأوساط فلابد أولا تحديد الخواص المرنة لهذه الأوساط. لذلك فبفرض أن الأجسام الصخرية متجانسة وإتجاهيه وإلا فإن إنتشار هذه الموجات تصبح أكثر تعقيدا. وتبسط هذه الفروض تفسيرات التأثيرات المقاسة (شذوذ الزمن) ومن هذه الخواص:

1.2.2 الإجهاد Stress:

وهو عبارة عن علاقة بين القوة والمساحة السطحية المؤثرة عليها

$$\text{Stress (الإجهاد)} = \frac{\text{Force (قوة)}}{\text{Area (مساحة)}} \quad \& \quad S = \frac{F}{A} \qquad (2\text{-}1)$$

ويوجد أربع أنواع من الإجهاد:

(i) الإجهاد الطولى Tensile stress:

وفيه تكون القوة عمودية على المساحة وتسبب بذلك إستطالة خلال الجسم (شكل 2-2 أ).

(ii) الإجهاد الضغطى Compressive stress:

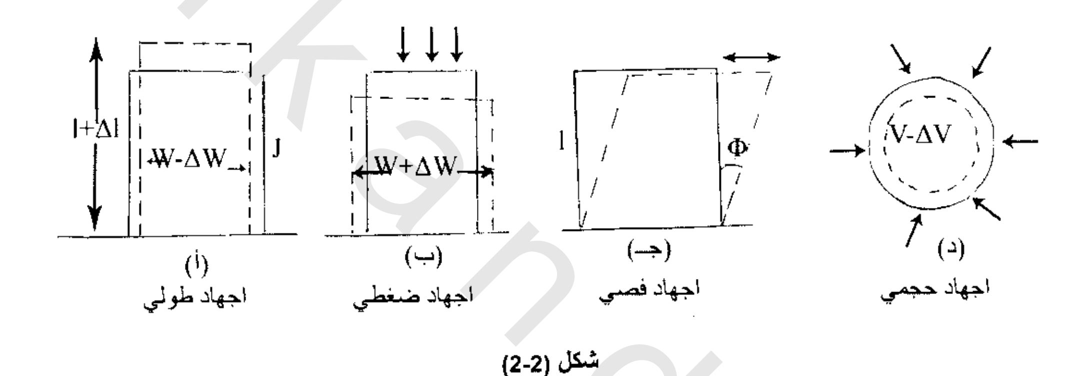
وفيه تكون القوة عمودية على المساحة ولكن تسبب بذلك قصرا خلال الجسم (شكل 2-2 ب).

(iii) الإجهاد القصى Shearing stress:

وفيه تكون القوة موازية للمساحة وتسبب تشوه (شكل 2-2 ج).

(iv) الإجهاد الحجمى Volume stress:

وفيه تكون القوة موزعة على حجم الجسم وتسبب نقص فى حجم الجسم (شكل 2-2 د).



شكل (2-2)

2.2.2 الانفعال Strain:

(i) الإنفعال الطولى Longitudinal strain:

هو عبارة عن نسبة بين الإستطالة الطولية الناتجة من الإجهاد الطولى إلى الطول الأصلى

$$\in \ell = \frac{\Delta\ell \ \text{(الاستطالة)}}{\ell \ \text{الطول الأصلى}} \qquad (2\text{-}2)$$

(ii) الإنفعال العرضى Transverse strain:

هو نسبة بين الإستطالة العرضية إلى العرض الأصلى الناتج من الإجهاد الضغطى.

$$\in W = \frac{\Delta W \ \text{(الزيادة فى العرض)}}{W \ \text{(العرض الأصلى)}} \qquad (2\text{-}3)$$

(iii) الإنفعال القصى Shearing strain:

وينتج من الإجهاد القصى وينشأ عن ذلك زاوية ϕ تسمى زاوية التشوه وتتغير هذه الزاوية بتغير الإجهاد فى علاقة طردية، ε (الإنفعال القصى = ϕ).

(iv) الإنفعال الحجمى Volume strain:

$$\text{الانفعال الحجمى} \quad \in = \frac{\Delta V \ (\text{النقص فى الحجم})}{V \ (\text{الحجم الأصلى})} \qquad (2\text{-}4)$$

جـ) معامل ينج (E) Youngís modulus:

يوجد علاقة طردية بين الإنفعال والإجهاد.

$$\varepsilon \,\&\, S \qquad \varepsilon = K S \qquad (2\text{-}5)$$

حيث K ثابت وتساوى $\frac{1}{E}$

$$\therefore \in = \frac{1}{E} \ S$$

حيث E معامل ينج، وأيضا

$$S = E\,\varepsilon$$

وتبلغ قيمة ينج لأغلب الصخور 10^{11}-10^{12} داين/سم^٢.

4.2.2 نسبة بواسون (σ) Poissonís ratio:

هى نسبة بين الإنفعال العرضى للإنفعال الطولى.

$$\text{(نسبة بواسون)} \ \sigma = \frac{\frac{\Delta W}{W}}{\frac{\Delta \ell}{\ell}} = \frac{\Delta W}{W} \times \frac{\ell}{\Delta \ell} \qquad (2\text{-}6)$$

لاتزيد هذه النسبة عن 0.5 وهى لأغلب الجوامد المرنة فى حدود 0.25.

5.2.2 الصلابة أو معامل القص (μ) Rigidity or shear modulus:

$$S_{sh} = \mu\,\phi \qquad (2\text{-}7)$$

حيث μ الصلابة أو معامل القص ولأغلب المواد فإن μ عدديا حوالى نصف E (معامل ينج).

6.2.2 المعامل الحجمى والكبس (β) Bulk modulus and compressibility:

إذا تعرض جسم ذا حجم (V) إلى إجهاد ضغط متساوى فى جميع الجهات فإن حجمه يقل بكمية ΔV

$$\therefore \ \text{(المعامل الحجمى)} \ \beta = \frac{S}{\Delta V / V} \qquad (2\text{-}8)$$

7.2.2 العلاقة بين ثوابت المرونة Relation between Elastic Constants:

$$\beta = \frac{E}{3(1-2\sigma)} \qquad \& \qquad \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

$$E = \frac{6\beta\mu}{3\beta+\mu} \qquad \& \qquad \sigma = \frac{3\beta-2\mu}{3\beta+2\mu}$$

حيث μ = معامل القص   & β = المعامل الحجمى

σ = نسبة بواسيون   &   E = معامل ينج

8.2.2 الموجات المرنة Elastic Waves:

$$P = s \sin \frac{2\pi}{\lambda}(X - Vt)$$

وهذه تمثل نوع الذبذبة لحركة هرمونية بسيطة.

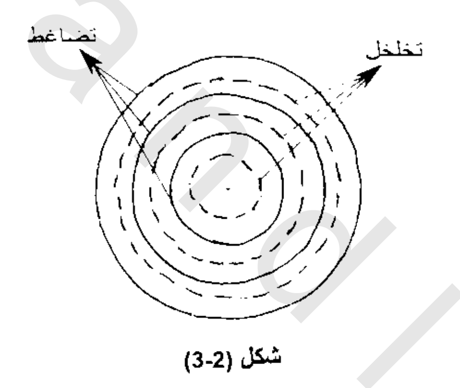
حيث $\lambda = \frac{V}{\nu}$

حيث λ الطول الموجى

ν التردد = $\frac{1}{T}$ (T الزمن)

v السرعة

ولهذه الموجه نوعان (شكل 2-3)



شكل (2-3)

1.8.2.2 الموجه التضاغطية Compressional wave:

وفيه تتحرك جزيئات المادة فى اتجاه انتشار الموجه أو بزاوية مقدارها 180° فى صورة تضاغطيه وتخلخليه وهذه الموجه هى المستخدمة فى دراسة التنقيب الزلزالى (الطريقة الانكسارية والانعكاسية). وتقدر هذه الموجه بمعاملات المرونه كالآتى:

$$V_p = \sqrt{\frac{\beta + 4/3\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{p}\left(1 + \frac{2\sigma^2}{1 - \sigma - 2\sigma^2}\right)} = \sqrt{\frac{E}{p}\frac{1 - \sigma}{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}} \quad (2\text{-}9)$$

حيث ρ = الكثافة (مثل الموجودة فى 10-2) ρ

2.8.2.2 الموجه العرضية Transverse Wave:

وفيها تتحرك جزيئات الماده على اتجاه عمودى على إتجاه إنتشار الموجه (وتسمى الموجه القصيه أو الهدميه shear or destroyed waves).

$$V_T = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}\left(\frac{1}{2(1+\sigma)}\right)} \qquad (2\text{-}10)$$

$$\frac{V_P}{V_T} = \sqrt{\frac{\beta}{\mu}\frac{4}{3}} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{1/2-\sigma}}$$

$$\left(\frac{V_P}{V_T}\right)^2 = \frac{2(1-\sigma)}{(1-2\sigma)}$$

$$\therefore \frac{V_P}{V_T} = \frac{2}{1}$$

وبطرح المعادلة (10-2) من (9-2)

$$V_P^2 - 4/3V_T^2 = \frac{\beta}{\rho} \qquad (2\text{-}11)$$

ويلاحظ أن الموجه الطوليه دائما أكبر من الموجه العرضية فى نفس الوسط. ويسمى هذين النوعين من الموجات بالموجات الجسمية (body waves).

3.8.2.2 الموجات السطحية Surface waves:

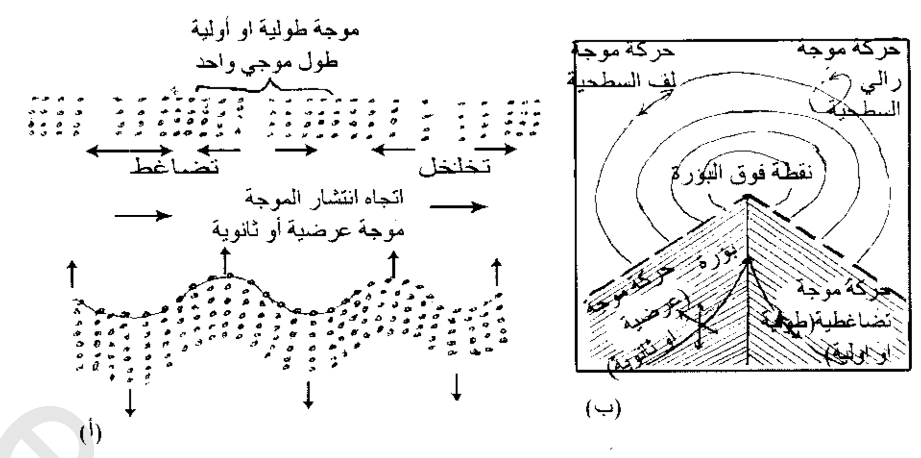
وهى تصاحب الموجتين السابقتين (التضاغطية والعرضية وهما):

أ- موجه رالى Rayleigh waves:

وتتميز هذه الموجه بأن سعة حركتها تتناقص أسيا مع العمق أسفل السطح. وسرعة هذه الموجه أبطأ من الموجات الجسميه بحوالى $\frac{9}{10}$ من الموجه العرضية فى نفس الوسط. هذا النوع من الموجات غالبا ماتخفى الإنعكاسات فى التسجيلات السيزمية التى نحصل عليها فى الإستكشاف البترولى، ويقوم السيزمولوجيين بتحليل تشتت هذه الموجات على تسجيلات الهزات الأرضية لاستنتاج كثير من المعلومات المفيدة الخاصة بالطبقات فى الجزء العلوى من القشرة الأرضية.

ب- موجات لف Love Waves:

تلاحظ هذه الموجات فقط عندما يوجد طبقة ذات سرعة منخفضة تعلو وسط فيه الموجات المرنة ولهذا يكون لها سرعة عالية وحركة هذه الموجه أفقيه وعرضيه، ولهذا لاتسجل هذه الموجه فى البحث والتنقيب السيزمى وتستخدم فى الزلازل لدراسة الطبقات القريبة من سطح الأرض. شكل (2-4) يمثل نموذج للموجات السابقة وحركة موجه طوليه أوليه.

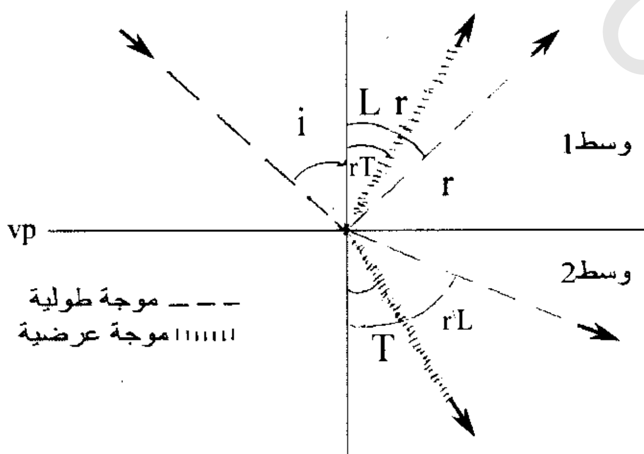


شكل (2-4) أ) حركة الجزيئات فى الموجات الطولية والعرضية. ب) نموذج للموجات الجسمية والسطحية متولدة من زلزال

4.8.2.2 الموجات المنعكسة والمنكسرة Reflection and Refraction Waves:

تمتد الموجات الطولية (التضاغطية) L والموجات العرضية T بانتظام فى الأوساط المتجانسة فى جميع الاتجاهات عن مصدر الاضطراب وتتقدم الموجه للأمام بشكل كروى مركزه عند المصدر ومتعامد على اتجاه انتشار الموجه وتقل طاقة الموجه بسرعة مع مربع المسافة بينما تقل السعة مباشرة فى تناسب مع مسافة الإنتقال. وعندما تصطدم الموجه على سطح لوسط ثان له سرعة مرنه مختلفة فإن جزء من الطاقة ينعكس وجزء ينتقل بانكسار إلى هذا الوسط. ويحكم هذا الانعكاس والانكسار قوانين هندسة البصريات، وعند المسافة الكبيرة من المصدر فإن طرق الموجات يكون إشعاعيا، وتخضع الموجات فى هذه الحالة لقانونى هايجن Huygenís فيرمات Fermatís.

بالرغم من هذا التشابه فى إنتشار الموجات الضوئيه والسيزمية فإن العمليات الحقيقية للإنعكاس والإنكسار للموجات السيزمية تكون قليلا أكثر تعقيدا من الموجات الضوئية، وعامة فأى موجه طولية L أو عرضية T تصطدم عند الحد الفاصل بين وسطين سوف يتولد موجتين منعكستين لـ L & T وكذلك موجتين منكسرتين لـ T & L، وباستعمال (الترقيم أو العلامات) لشكل السرعة V فإن قوانين الإنعكاس والإنكسار تعطى بواسطة قانون Snellís. شكل (٢-٥)



شكل (2-5): انعكاس وانكسار لموجه طوليه ساقط على حد فاصل بين وسطين بسرعات مختلفة. عامة يتولد أربع موجات عند الحد الفاصل.

$$\frac{\sin i_L}{V_{L_1}} = \frac{\sin r_L}{V_{L_1}} = \frac{\sin r_L}{V_{T_1}} = \frac{\sin \bar{r}_L}{V_{L_2}} = \frac{\sin \bar{r}_T}{V_{T_2}}$$

حيث   i= زاوية السقوط   &   r = زاوية الانعكاس

$\bar{r}$ = زاوية الإنكسار   &   V = السرعة

وإذا كانت موجة السقوط والإنعكاس من نفس النوع فإن زاوية السقوط والإنعكاس تتساوى أى $i_L = r_L$.
وعندما تسقط الموجه الطولية عموديا على الحد الفاصل (أى i_L = صفر) فإنها لاتنتج موجات ثانوية منعكسة أو منفذة وتتحول كل الطاقة إلى موجات أولية منعكسة ومنكسرة وهذه الخاصية تجعل الموجه الطولية L عند قرب الإسقاط العمودى يمثل قاعدة سائدة فى البحث السيزمى. وفى هذه الحالة فإن معامل الإنعكاس وهو النسبة بين السعة للموجه المنعكسة إلى الموجه الساقطة وتعطى قيمة هذا المعامل بواسطة

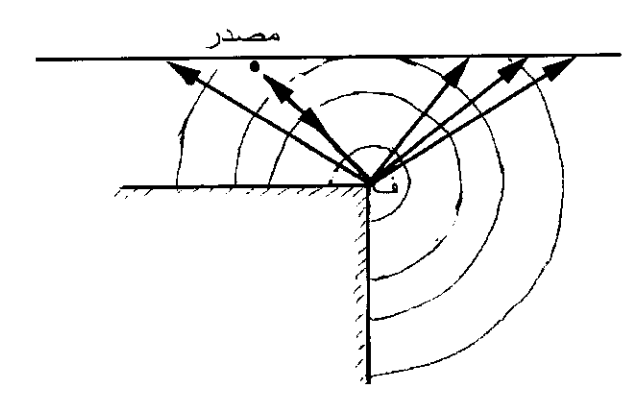
$$\mu_n = \frac{A_{r'}}{A_r} = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

حيث μ_n = معامل الإنعكاس
$A_{r'}$ = سعة الموجه المنعكسة
A_r = سعة الموجه الساقطة
ρ = الكثافة   &   V = السرعة

ويظهر من هذه المعادلة أن معامل الإنعكاس يعتمد على التباين فى الممانعة السمعية (الناتجة من الكثافة وسرعة الموجه الطولية L) على جانبى الحد. وإذا كانت $\rho_1 V_1$ أكبر من $\rho_2 V_2$ فإن μ_n تكون سالبه ويتحول طور الموجه المنعكسة إلى 180° وينعكس التضاغط إلى تخلخل والعكس بالعكس. وعمليا ماتزيد السرعة بزيادة العمق ($\rho_1 V_1 < \rho_2 V_2$) فى هذه الحالة تكون أغلب الإنعكاسات القوية موجبة أى بدون تغير فى طورها. وهناك حالات خاصة مثل التركيبات الملحية فى الصخور الرسوبية حيث تزيد السرعة وتقل الكثافة فى مثل هذا التناسب فإن $\rho_1 V_1 \approx \rho_2 V_2$ وفى مثل هذه الحالات لايلاحظ إنعكاس. ولذلك فإن الممانعة الصوتية تكون ذات أهمية كبيرة فى الدراسات الإنعكاسية السيزمية. فإذا كانت الممانعة الصوتيه فى أحد الأوساط ($\rho_1 V_1$ أو $\rho_2 V_2$) تساوى صفر فإن $\mu_n = \pm 1$ وتنعكس كل الطاقة فى أى حالة ولايوجد انتقال للموجات (أى إنكسار)، مثل هذا الوضع يحدث بواسطة سطح أرضى حر. إذا وضع المصدر السيزمى فى الهواء ($\rho_1 V_1$ = صفر) فغالبا ما تنعكس الموجه الساقطة للخلف مع عدم فقد الطاقة ولاتغير فى الطور. وعند وضع المصدر تحت الأرض فإن الموجه المنعكسه من السطح الحر تكون كافية ومتساوية (أى تقريبا تنعكس كل الطاقة) ماعدا تغير الطور عند 180°.

والوضع الآخر عندما تقترب μ_n للواحد وتحدث عندما تسقط الموجه على سطح المادة الصلبة عند الزاوية الحرجة (أى زاوية السقوط التى تكون عندها زاوية الإنكسار ٩٥°)، مثل هذا التراكم القوى فى سعة الإنعكاس بالقرب من الزاوية الحرجه تسمى مدى زاوية الإنعكاس wide-angle reflection (WAR)، ويستعمل العمق السيزمى هذه الظاهرة لتخريط الإنعكاسات العميقة مثل سطح التماس بين القشرة والستار.

عندما يمثل حد سطح الإنعكاس كسر حاد (مثل فالق أو منحدر-جرف) فإن مقدمة الموجه الساقطة تتشتت عند الركن الحاد لهذا السطح (شكل ٢-٦)



شكل (2-6): تشتت مقدمة الموجه من الحافة الحادة (ف).

وهذه الظاهرة تشبه نظيرتها فى البصريات ويعمل الركن الحاد كمصدر لتشتت الموجه. وتقدم الموجات المشتته منفعة هامة كدليل للفوالق الصغيرة والتى لاتكتشف بسهولة بواسطة تقنية الإنعكاس.

عندما تصطدم الموجه الساقطة بالحد الفاصل فإن جزء من الطاقة ينكسر خلال هذا الحد، إذا كانت الطبقة أسفل هذا الحد ذات سرعة عالية (شكل 2-5) فإنها تعطى زاوية إنكسار بواسطة قانون سنل Snellís law

$$\frac{\sin i}{\sin r`} = \frac{V_1}{V_2}$$ وعندما تكون زاوية الإنكسار = 90° وحيث sin 90° =1 فإن

$$\frac{\sin i}{1} = \frac{V_1}{V_2} \qquad \therefore \sin i = V_2/V_1$$

وتسمى زاوية السقوط i فى هذه الحالة بالزاوية الحرجة. وفى هذه الحالة أيضا يكون الإنكسار إنكسارا حرجا. وعندما يكون الإنكسار الحرج على طول أو موازى للحد الفاصل فإنه يكون قاعدة هامة فى طريقة الإنكسار السيزمى أى $i = \sin^{-1} V_1/V_2$، وعندئذ تسير الموجه الحرجه على طول الحد الفاصل بسرعة V_2 أى بسرعة الطبقة التحت الحد الفاصل، ولكن خلال هذا الإنتشار فإن هذا الحد يتعرض لإجهاد متذبذب وكل نقطة عليه ترسل موجه ثانوية ولذلك فإن الطاقة تظهر مرة أخرى فى الطبقة العليا على طول إشعاعات بزاوية i_c زاوية السقوط الحرجة الأصلية (critical angle) وتتبع مرة أخرى قانون سنل. مثل هذه الإزدواجية للموجه المنكسرة تعطى معلومات عن عمق الحد الفاصل فى حالات تشمل تغير السرعة. وهذه الخاصية ذات أهمية فى توضيح وضع القشرة التى تعلو الستار ذات السرعة الأعلى من القشرة.

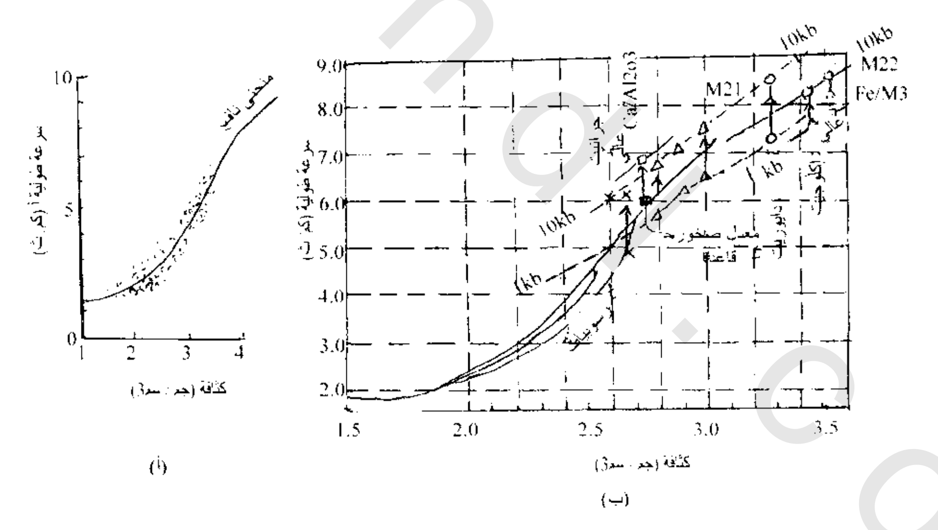
9.2.2 السرعات السيزمية فى الصخور Seismic Velocities in Rocks:

فى تطبيقات الطرق السيزمية لحل المشاكل الجيولوجية فإن من أهم خواص الصخور تكون إنتشار سرعة الموجات السيزمية وخاصة الموجات الطولية والتى تكون أسرع وأول ما تسجل. وقد لوحظ مسبقا أن خواص الإنعكاس والإنكسار تعتمد أولا على فوارق السرعة عبر الحد. ولهذا فإن معرفة سرعات الصخور تكون أساس التفسير السيزمى، وتعتمد سرعة الصخور السيزمية على معاملات المرونة والكثافة، ومن الممكن حساب السرعات من قياسات معاملات المرونة لعينات صخرية. وربما تختلف نتيجة هذه القياسات للسرعة عن قياسات السرعة للصخور فى الحقل، وهذه تحدث فى الصخور الرسوبيه والتى فيها تتأثر السرعة كثيرا بالعمق

والمسامية وتشبع السوائل بها. وتعتبر تغير السرعة فى الصخور أكبر كثيرا من تغير كثافة الغازات والسوائل ويبين جدول (2-2) السرعات الطولية لبعض الصخور، وتعطى هذه النتائج فكرة عامة عن مدى السرعة المتوقعة عند المسح السيزمى. وغالبا ما توضح السرعات السيزمية التساوى (اتجاهى) فى التكوينات الطباقيه، فمثلا فى الطين الصفحى والارتواز تكون السرعة على طول اتجاه التطابق أكبر تقريبا بـ 15% - 20% عن السرعات العمودية على هذا الاتجاه.

جدول (2-2)

نوع المادة	V_L (م/ث)	نوع الصخور	V_L (م/ث)	نوع الصخر	V_L (م/ث)	نوع الصخر	V_L (م/ث)
هواء	3000	رسوبيات (غرين، رمل)	1700-300	إردواز (طين صفحي متحجر)	5000-2400	بازلت	6300-5500
ماء	1500-1400	ركام ثلاجات	2600-1500	حجر جيرى ودولوميت انهاديريت	6000-4000	جابرو	6800-6400
ثلج	4000-3000	حجر رملى	4500-2000	صخر رملى جارنيت ونيس	5500-4000 6200-5000	بروديدوتيت	8400-7800



شكل (2-7) : أ) العلاقة بين سرعة الموجه الطولية والكثافة لمدى واسع للصخور الرسوبيه ويلاحظ أن امتداد المنحنى يمثل الصخور الصلبة (After Nafe-Drake 1963).

: ب) العلاقة بين سرعة الموجه الطولية والكثافة للصخور الرسوبية والقاعية (After Nollard, 1975).

وأيضا فإن تأثير التضاغط أو التحجر هام فى الصخور الرسوبية والتى تعتمد فيها السرعة على العمق، ويوضح شكل (2-7) أ، ب العلاقة بين الكثافة والسرعة الطولية V_L، وممكن استخدام هذه العلاقة فى تفسير المسح الجاذبى.

3.2 علم الزلازل وتركيب الأرض Seismology and the Earth's Structure:

من الصعب معرفة تركيب وتكوين الأرض مباشرة ولكن يمكن الإشارة لذلك فقط من دلالات غير مباشرة، ومن ضمن هذه الدلالات دراسات أمواج الزلازل التى تنتقل إلى داخل الأرض ومسار هذه الأمواج تعمل كإختبارات أشعة X، وهى تعطى معلومات عن تركيب وخواص الأرض الداخلية. وتعطى أيضا تسجيلات الإنفجارات النووية معلومات وثيقة بالإضافة إلى المعلومات التى تمدنا بها مسجلات الزلازل. بالإضافة لذلك فإن تسجيلات الإنفجارات الكيميائية الكثيرة بالإشتراك مع المعلومات الجيولوجيه عن الصخور السطحية زادت من معلوماتنا عن الغلاف الخارجى للأرض. ومن أهم مسببات الزلازل الفوالق، البراكين والإنزلاقات الأرضية.

1.3.2 مشاهدات نتائج الزلازل Observation data on earth:

1.1.3.2 البؤرة Focus or hypocenter:

عبارة عن نقطة مفردة عادة تحت سطح الأرض، والتى فيها يحدد أضطراب خلال أو تحت القشرة الأرضية.

2.1.3.2 أنواع الزلازل The type of earthquakes:

على أساس عمق البؤرة قسمت الزلازل لثلاثة أنواع:

أ) زلزال عميق Deep earthquake:

وفيه يكون عمق البؤرة أكبر من 300 كم.

ب) زلزال متوسطة العمق Intermediate earthquake:

وفيه تكون البؤرة ذات عمق ما بين 70-300 كم.

ج) زلزال ضحل Shallow earthquake:

وفيه يكون عمق البؤرة يساوى أقل من 70 كم.

3.1.3.2 نقطة فوق البؤرة Epi center:

هى نقطة على سطح الأرض عمودية فوق البؤرة.

4.1.3.2 أمواج الزلازل Earthquake wavs:

أ- الموجات الأولية (P.W.) Primary waves:

هى موجات طوليه ذات سرعات ما بين 5.5 - 13.8 كم/ث وسميت أوليه لأنها أول ما يسجل بواسطة أجهزة قياس الزلازل.

ب- الموجات الثانوية (Secondary waves (S.W:

هى موجات عرضية تبلغ سرعتها تقريبا نصف سرعة الموجات الطوليه وهى ما بين 3.2-7.3 كم/ث[٢]، وسميت ثانوية لأنها ثانى مايسجل بواسطة أجهزة قياس الزلازل وتسمى أيضا بالموجات الهدمية destroyed waves لأنها هى المسببة للأعمال الهدمية المصاحبة للزلازل، ويرجع أهميتها أيضا فى دراسة التركيب الداخلى للأرض حيث أنها تمر فى القشرة والستار ولا تمر فى قلب الأرض (لأنها لاتمر فى الغازات والسوائل). والموجات الأولية والثانوية تخرج من البؤرة وتسمى بالموجات الجسمية body waves لأنها تسير فى داخل الأرض.

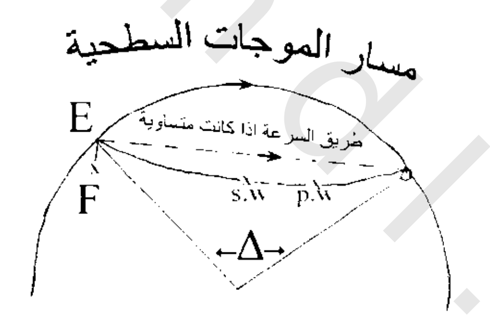
جـ الموجات السطحية Surface waves:

وتسمى أيضا بالموجات الطويلة long waves حيث أنها تتكون من تضاغط وتخلل وتسير الجزيئات فى إتجاه إنتشار الموجه وتتكون هذه الموجات من:

(i) موجات رالى Rayliegh waves.

(ii) موجات لف Love waves.

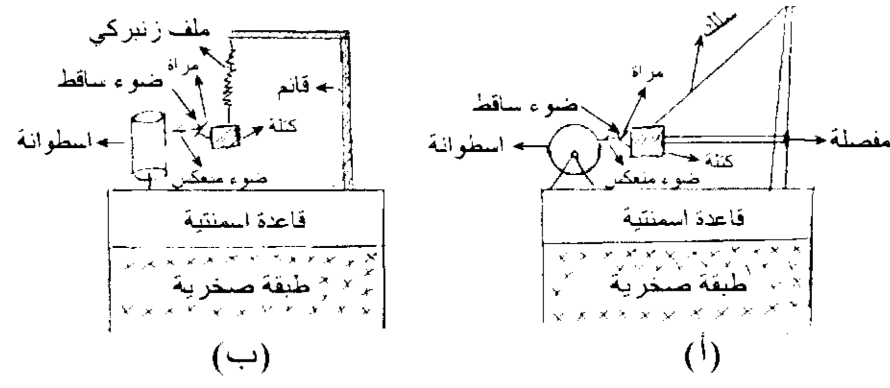
وهذه الموجات تخرج من نقطة فوق البؤرة وسرعتها تتراوح ما بين 4 - 4.4 كم/ث . شكل (2-8) يوضح مشاهدات الزلازل.



شكل (2-8) رسم تخطيطى لموجات أوليه وثانوية وسطحية من زلزال بؤرته F ونقطة فوق البؤرة E ، o محطة الرصد ، Δ زاوية نقطة فوق البؤرة.

5.1.3.2 سجل الزلزال (مرجاف أو مرسمه الزلزال) Seismograph:

تحتوى أى محطة زلازل على ثلاثة وحدات من أجهزة التسجيل، إثنين منهم متعامدين كل على الآخر (أحدهما فى إتجاه شمال-جنوب والآخر فى إتجاه شرق-غرب) لتسجيل المركبات الأفقية للحركة. والوحدة الثالثة لتسجيل المركبه الرأسية للحركة. شكل (2-9أ،ب) يوضح وحدتين تسجيل إحداهما لتسجيل المركبه الأفقية والآخر لتسجيل المركبة الرأسية.



شكل (2-9): أ) وحدة تسجيل مركبة أفقية. ب) وحدة تسجيل مركبة رأسية

طريقة عمل أجهزة التسجيل:

أولا: بالنسبة لتسجيل المركبة الرأسية، فى حالة عدم حدوث زلزال فإن الضوء المنعكس يرسم خط ضعيف الذبذبة يقرب للخط المستقيم على الورقة الضوئية المثبته على الإسطوانة والتى تكمل دورتها كل 6 أو 12 أو 24 ساعة تبعا لتصميم الجهاز، وعند حدوث زلزال فإن الكتلة تتذبذب لأعلى وأسفل ويرسم الضوء الساقط الموجات الزلزالية على الورقة الضوئية وتتوقف سعة وشدة الموجه على قوة الزلزال المحدث للحركة (شكل 2-9 : أ).

ثانيا: بالنسبة لتسجيل المركبة الأفقية: نفس فكرة عمل تسجيل المركبة الرأسية ولكن فى هذه الحالة ستكون حركة الكتلة أفقية حيث تسمح المفصلة المتصلة بالعمود الحامل للكتلة بالحركة الأفقية وبالتالى فإن الضوء المنعكس يرسم موجات زلزالية تتوقف سعتها وشدتها على قوة الزلزال المحدث للحركة (شكل 2-9ب).

6.1.3.2 صفحة مرسمة الزلازل (صفحة المرجاف) Seismogram:

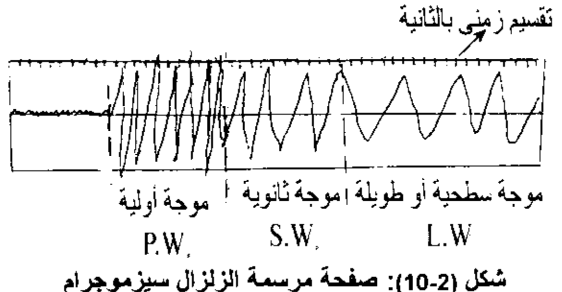
وهى عبارة عن صفحة فوتوغرافية للأجهزة الضوئية أو صفحة ورقية للأجهزة الراسمة مباشرة. وعند حدوث زلزال ترسم مراسم أجهزة التسجيل على هذه الصفحة خطوط زجزاجية مقسمة تبعا لأنواع الموجات الزلزالية المذكورة سابقا إلى ثلاثة أجزاء:

أ) الجزء الأول يمثل الموجات الأولية.

ب) الجزء الثانى يمثل الموجات الثانوية.

ج) الجزء الثالث يمثل الموجات السطحية.

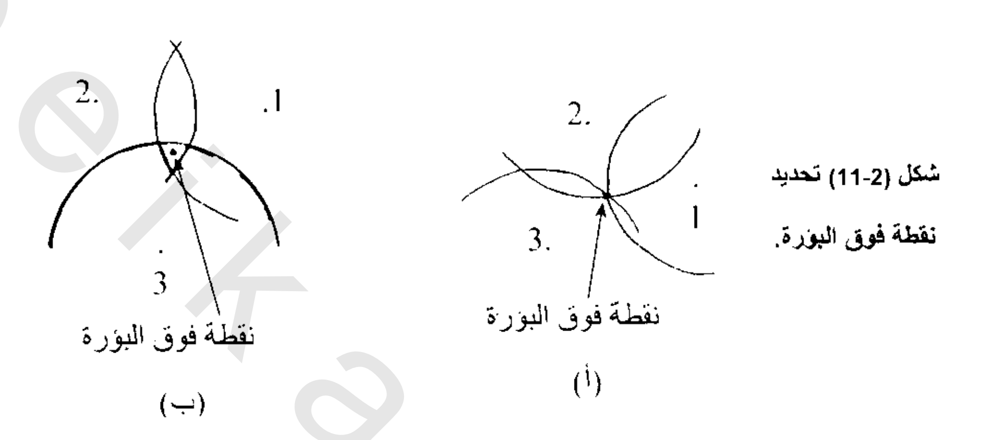
ويوضح شكل (2-10) صفحة المرجاف (مرسمة الزلزال).



شكل (2-10): صفحة مرسمة الزلزال سيزموجرام

2.3.2 تحديد نقطة فوق البؤرة Location of epicenter:

من اختلاف الزمن بين الموجات الأولية والموجات الثانوية يمكن حساب المسافة بين المحطة ونقطة فوق البؤرة. وبواسطة تحديد هذه المسافات لثلاثة محطات ترسم ثلاث دوائر (ترسم بمقياس معين بالنسبة للمسافة الحقيقية) أنصاف أقطارها هذه المسافات ونقط تلاقى هذه الدوائر هى نقطة فوق البؤرة شكل. وإذا لم تتقاطع هذه الدوائر فى نقطة فيرسم مثلث فى مساحة الواقعة بين هذه الدوائر ونقطة تلاقى منتصفات أضلاع هذا المثلث تمثل نقطة فوق البؤرة (شكل 2-11أ، ب).



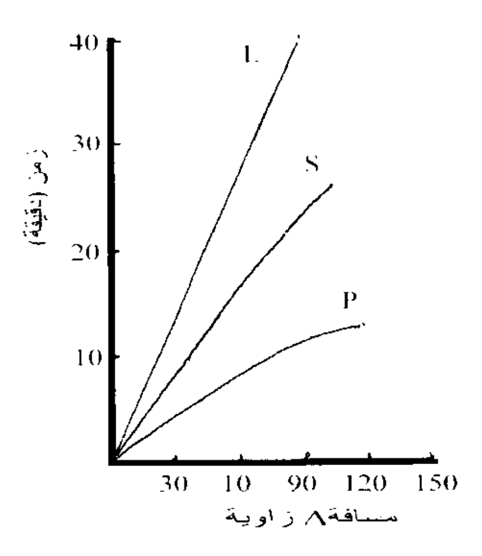
شكل (2-11) تحديد نقطة فوق البؤرة.

3.3.2 منحنيات فترة (انتقال) الزمن Travel Time Curves:

عندما تحدث زلازل كبيرة فإن طور الموجات السيزمية المستقبلة فى محطات الزلازل تنتشر حول الأرض، والخطوة التالية هو التحقق من وصول مختلف الأطوار للموجات الأولية والثانوية والسطحية عند المحطات المختلفة. وبمقارنة التسجيلات من المحطات المختلفة يمكن تحديد الأماكن والزمن التقريبى، ويلاحظ أن المحيطات القريبة هى التى تسجل الوصول أولا فى أطوار كبيرة، وبهذه الطريقة ومن هذه التسجيلات يمكن إنشاء منحنيات فترة الزمن للموجات المختلفة (شكل 2-12) وتعتبر مثل هذه المنحنيات أحسن الطرق لتحديد الزمن ومسافة نقطة فوق البؤرة. وفترة الزمن بين الموجه الأولية والثانوية له علاقة بالمسافة بين المرصد والزلزال (زاوية نقطة فوق الزلزال Δ شكل (2-8). وأحسن مجموعة لهذه المنحنيات موجودة فى جداول أنشئت بواسطة Jeffreys and Bullen 1967. وبإستعمال فترات الزمن بين S & P من عدة مراصد يمكن تحديد موقع الزلزال بدقة كما ذكر سابقا.

4.3.2 الكثافة ومعاملات أخرى فى الأرض Density and other parameters in the earth:

لاشتقاق نماذج الكثافات المختلفة للأرض، استخدم Bullen 1963 الطريقة الغير مباشرة آدم ويليامسون (Adms-Williamson) وهذه الطريقة تفترض أن الكثافة تزيد بالعمق بسبب الكبس الأديباتيكى الذاتى تحت الضغط الهيدروستاتيكى. وباعتبار تماثلية كروية الأرض التى كثافتها ρ دالة لنصف القطر r



شكل (2-12)

$$\therefore \frac{d\rho}{dr} = \frac{d\rho}{dP}\frac{dP}{dr} \qquad (2\text{-}12)$$

حيث P الضغط الهيدروستاتيكى.

وحيث الكثافة والحجم لها علاقة عكسية $\left(\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{dv}{dv}\right)$ وأن المعامل الحجمى K له علاقة بـ $\frac{dv}{v}$

$$\therefore \frac{d\rho}{dP} = \frac{P}{K} \qquad (2\text{-}13)$$

وعلاوة على الضغط المتسلسل من خلال سمك الغلاف dr يكون

$$dP = -\rho_r\, g_r\, dr \qquad (2\text{-}14)$$

حيث g عجلة الجاذبية والتى لها علاقة بكتلة الأرض M وثابت الجاذبية γ بالمعادلة

$$g_r = \frac{V}{r^2}\int_o^r 4\pi\rho r^2 dr = \frac{\gamma M_r}{r^2} \qquad (2\text{-}15)$$

وبالتعويض بالمعادلة 2 ,3 ,4 بالمعادلة 1 ينتج

$$\frac{d\rho}{dr} = -\left(\frac{\rho}{k}\right)\frac{\gamma M_r \rho_r}{r^2} \qquad (2\text{-}16)$$

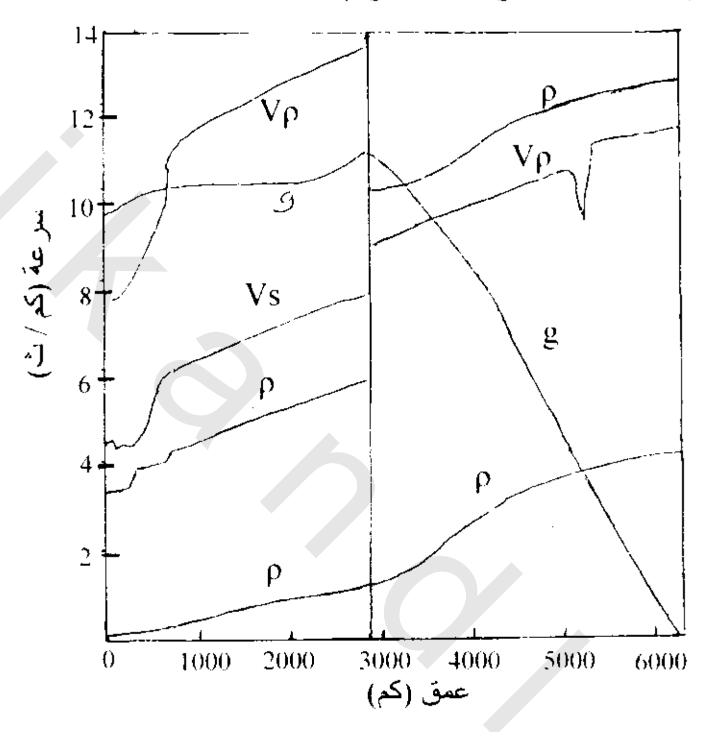
وبمساعدة العلاقة بين V_s, V_p ونسبة $\frac{K}{\rho}$ من المعادلة الخاصة بهما $K/\rho = \left(v_p^2 - \frac{4}{3}v_s^2\right)$

$$\frac{K2}{\rho} = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \qquad (2\text{-}17)$$

وبالتعويض بالمعادلة (2-17) فى المعادلة (2-16)

$$\frac{d\rho}{dr} = \frac{-\gamma\mu_r\rho_r}{r^2\left(V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2\right)} \qquad (2\text{-}18)$$

وهذه تمثل معادلة آدم وويليمسون Adams-Williamson، ويشير الحرف r اللاصق بأن القيم V_p, V_s, Ö الخ تحدث عند نصف قطر r. من المعادلة (2-14) ,(2-15) يمكن استنتاج توزيع الكثافة والجاذبية والضغط فى الأرض ويوضح شكل (2-13) هذا التوزيع تبعا لنموذج (هادن وبولن Haddon and Bullen, 1964).



شكل (2-13): نموذج للخواص الطبيعية داخل الأرض P الضغط بـ 10^7 داين/سم^2، ρ الكثافة 10^3 كجم/م^3، g الجاذبية م/ث^2، V_s, V_p سرعة الموجات الطولية والثانوية بالتوالى بالكم/ث. (بعد هادن وبولون 1964).

5.3.2 شدة الزلزال Magnitude of earthquake M:

وضع ريختر (Richter 1935) مقياس لشدة الزلزال وهو ذات استخدامات عملية كبيرة فى اقرار القياس الكمى لطاقة الإنفعال المرن المنطلقة لأى زلزال. وتحدد شدة ريختر كالآتى:

$M = \log_{10} A$ (شدة الزلزال)

حيث A أكبر قياس سعة* بالميكرون مسجل بواسطة نموذج معيار وود وأندرسون Wood-Anderson لفترة قصيرة للمرجاف على بعد 100 كم من نقطة فوق البؤرة. وأنشأت كذلك جداول لعدة سعات (amplitudes) عددية مع المسافات المختلفة ليستطيع المراقب لمسافات المحطات استنتاج قيم الشدة العيارية.

* المسجل على السيزموجرام

وتبعا لمقياس رختر** فإن قيمة الشدة (M) يمكن مقارنتها على وجه التقريب مع المراقبات السيزمية الكبيرة فمثلا M =2 أقل هزات يشعر بها الإنسان، M = 5 هزات مسببه لتحطيم الإنشاءات الضعيفة، M > 6 هزات مدمرة.

6.3.2 طاقة الزلازل Energy of Earthquakes:

من أهم إستخدامات شدة الزلزال M هو تقدير الطاقة المصاحبة للزلازل ولهذا اقترح (باث Bath 1966) علاقة رياضية كالآتى:

$$\log_{10} E\ (\text{جول}) = 4.24 + 1.44\ M$$

وباستخدام هذه العلاقة وجد أن الطاقة المصاحبة لأكبر زلزال حدث فى القرن العشرين فى كولومبيا 1906 بشدة مقدارها 8.9 ريختر كانت 10^8 جول والتى تعادل الطاقة المنطلقة من 300 مليون طن قنابل وعادة فإن متوسط ما ينطلق من طاقة زلزالية سنويا تعادل 10^{18} جول/سنه وأغلبها تنتج من هزات كبيرة، وأغلب هذه الهزات تحدث عند أعماق ضحلة عادة أقل من 30 كم لأن تردد الهزات المتوسطة العمق والعميقة عامة تقل بزيادة العمق، ولم تعرف هزات حدثت على عمق أكثر من 720 كم أى عند الأجزاء العميقة للأرض حيث تكون عديمة السيزمية تماما.

7.3.2 ميكانيكية الزلزال Earthquake Mechanisms:

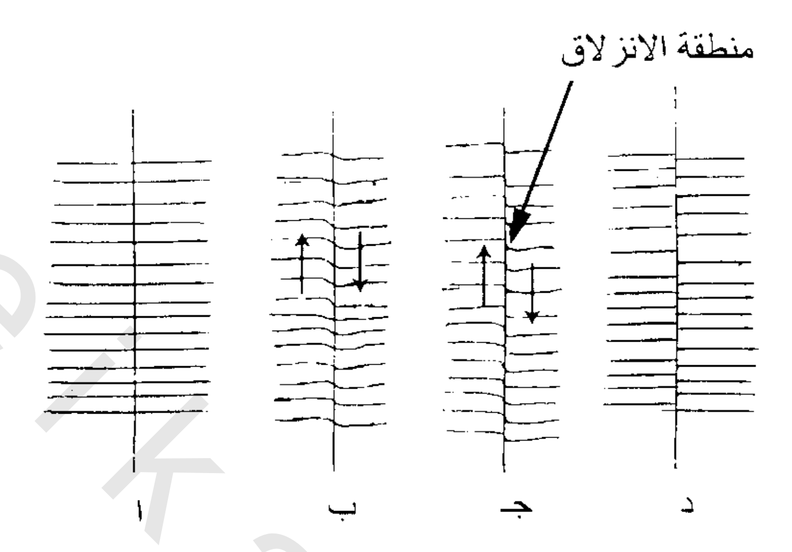
من أكثر معلوماتنا عن الأحداث التى تحدث بجوار بؤرة الزلازل تأتى من نظرية رجوع أو رد المرونة التى صيغت بواسطة H.F. Reid بعد زلزال سان فرانسيسكو الكبير 1906. وتنتسب النظرية لتزايد تجمع طاقة الانفعال المرن فى المناطق التكتونيه (حركة القشرة الأرضية)، وفجأة تنطلق الطاقة المخزونة بواسطة التصدع عندما تزيد قوة الكسر شكل (2-14). وعادة ما يصاحب الزلازل الضحلة الكبيرة تشوهات أساسية (تصدع) للأرض عبر مئات الكيلومترات والتى تدل على حجم الصخور التى منها انطلقت الانفعالات المرنة.

إذا كانت الإزاحة (انزلاق) شكل (2-14) فى إتجاه أفقى فإن الإنزلاق يسمى إنزلاق متجه طبقى ìstrike-dipî، وإذا كانت الإزاحة رأسية أو شديدة الإنحدار فيسمى إزاحة مائلة ìdip-slipî وهناك فوالق تجمع بينهما.

وتصور الكسر والتفلق المفاجئ يكون مقبولا عند تطبيق نظرية رد المرونة أو رجوع المرونة للهزات الضحلة. ونظرية الكسر القصى للتفلق تواجه صعوبات فى تفسير ميكانيكية البؤرة للأحداث العميقة لأن الأعماق أسفل عشرات الكيلومترات تزيد فيها مقاومة الإحتكاك كبيرا لأى تزحلق احتكاكى جاف يحدث. ولتفسير ذلك يتطلب نظرية أخرى بأن ميكانيكية البؤرة فى الحقيقة ماهى إلا تفلق ممكن حدوثه عند أعماق بواسطة وجود ضغط عالى لسوائل قليلة والتى تقلل مقاومة الإحتكاك للتزحلق بينما تترك الأجهاد القصى بدون تأثير. ومن هذه العلاقة لهذه النظرية ماهو ملاحظ لنشاط الزلازل الضحلة المحلية بعد الضغط العالى للسوائل التى تضخ فى آبار الصرف، وهذا ما تفسره هذه النظرية فى القشرة الأرضية حيث أكثر الصخور فى الأجزاء الضحلة من القشرة

** قيمته عدديا من 1-10

تحتوى مياه محبوسة وعلى أعماق ينطلق منها الماء بواسطة عمليات نزع الماء. وأيضا فى الستار فإن جزء الصهير من مادته ربما ينتج سوائل قليلة والتى تسلك كثيرا نفس الطريقة.



شكل (2-14): رسم كروكى يوضح رد مرونة ميكانيكية مصدر زلزال عند H.F. Reid (بعد بنيوف Benioff, 1964)

ومازالت مشاكل الميكانيكية الفيزيانية المسببة للزلازل المتوسطة العمق والعميقة بعيدة عن التفسير، ولكن إهمال عدم التأكيدات يقابله وجوب معرفة نماذج الإزاحة عند أى بؤرة زلزال. وهذه المعلومة ذات أهمية فى دراسة الحركات السيزمية.

8.3.2 ديناميكية الفالق والحركات السيزمية :Faulting Dynamics and Seismotectonics

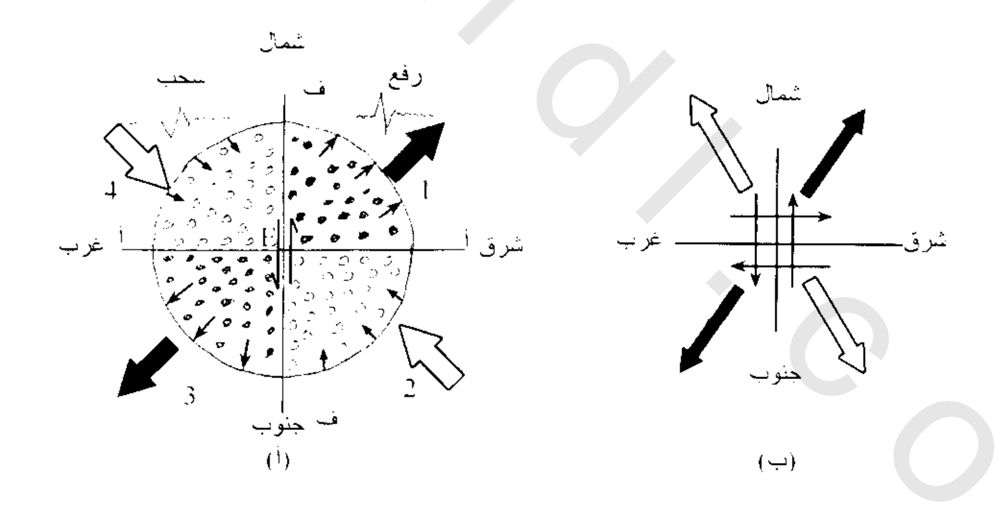
أكبر ظاهرة مصاحبة لأغلب الزلازل هى مستوى الفالق الذى عبره تتزحلق المواد المتجاورة. وفى عشرات السنين الحديثة نشرت طرق لتحديد اتجاه الفالق الذى سبب الزلزال وأيضا انزلاق هذا الفالق. وعادة فإن اتجاه الحركة الأولى للموجه الأولية المنتشرة من مركز الهزة تعطى معلومة عن ميكانيكية الهزة. فمثلا التوزيع السيزمى البادئ من نقطة مصدر نموذجى (مثل التى تنتج من الإنفجارات الكيميائية والنووية) خلال إنتشارها فى وسط مرن متجانس فإنها تنتج ضغط متساوى (دفع) على المواد المحيطة فى جميع الإتجاهات. وفى هذه الحالة سيكون وصول أول موجه أوليه عبارة عن ضغط، وهذا يعنى أن إندفاع الجزيئات بعيدا عن المرصد فى جميع الأربع أرباع (شكل 2-15). وفى حالة ما يكون مصدر الموجات الأولية فالق فإن توزيع أول نبضات الموجه الأوليه تختلف فى المربعات.

والطريقة العادية لدراسة نموذج الإزاحة عند مركز الهزة (البؤرة) هو ملاحظة الحركة الأولى لوصول نبضات الموجه الأوليه P_w المسجلة على ورقة التسجيل (ومن الواضح أن الزلازل الصغيرة تسجل فقط عند

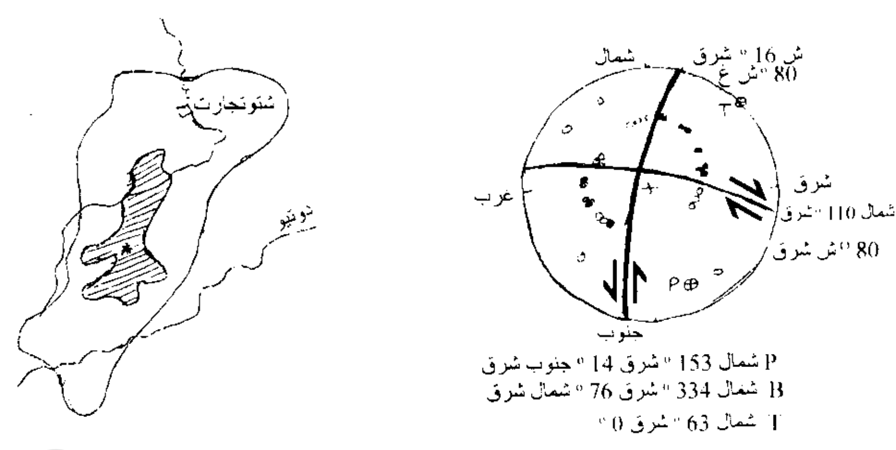
المحطات القريبة)، فإما أن تظهر النبضة الأولى عند كل محطة لـ P_W إما ضغط (دفع) وفى هذه الحالة يعطى للمحطة إشارة موجبة (+) أو تخلخل (سحب) وتعطى للمحطه فى هذه الحالة إشارة سالبة (-) وعندئذ ترسم هذه الإشارات على خريطة. ويوضح شكل (2-15) حالة افتراضية لتوزيع الحركات الأولى المصاحبة لحركة إنزلاق متجه طبقى (strike-slip) على طول مضرب فالق شمال-جنوب فى المستوى الرأسى ف-فَ ويبين الشكل (2-15) أيضا أنه يمكن تقسيم توزيع الإشارات الى أربع أرباع بحيث يكون توزيع الضغط والتخلخل متساوى ويلاحظ أنه يوجد أيضا مضرب انزلاق فالق فى إتجاه شرق-غرب فى مستوى إضافى أ أَ.

ولتحديد إتجاه أكبر إجهاد أفقى (Maximum horizontal stress (MHS فهناك اختيارين للحل أحدهما الجيولوجيا الإقليمية للمساعدة فى تحديد هذا الإجهاد الأفقى والآخر بإستخدام خرائط الخطوط السيزمية لتحديد مضرب الفالق.

ويوضح شكل (2-16) نموذج لهذا الحل لأن الشكل الإسقاطى فيه يفسر أن أول نبضة تضاغطية فى المربعين شرق شمال شرق، غرب جنوب غرب (WSW, ENE) والتخلخل فى المربعين الأخرين واتجاه مستوى الفالق من الشكل الذى يوضح توزيع الخطوط السيزمية هو جنوب جنوب غرب – شمال شمال شرق (NNE-SSW) وهذا يدل على أن الحركة غالبا أفقية ويسارية. وقد وجد أن إتجاه أكبر إجهاد أفقى (MHS) التقريبى كما حدد من دراسة الحركة الأولى هو تقريبا شمال غرب – جنوب شرق (NW-SE) والتى تتفق مع متوسط إتجاه محور الضغط التكتونى للمنطقة.



شكل (2-15): أ) إزدواج مفرد لميكانيكية الفالق. تسجيل الحركة الأولى للموجة الأولية P-W توضح توزيع نموذج توزيع تربيعى متشابه فى كل حالة. E = نقطة فوق البؤرة، ف – فَ = أثر مستوى الفالق، أ – أَ = أثر مستوى إضافى، • = ضغط، o = تخلخل، ⇑ = تدل على إتجاه أكبر إجهاد أفقى. ب) ازدواج مزدوج لميكانيكية الفالق



شكل (2-16): حل مستوى فالق لزلزال جنوب ألمانيا (يناير 22 ,1970) (شدته = 5.3). وقد أمكن الحصول على حلين من تحليل أول وصول الموجه الأولية يدل تساوى المنحنى السيزمى (الخط الثقيل) على أن مستوى الفالق له إتجاه شمال شمال شرق-جنوب جنوب غرب + نقطة فوق البؤرة ● ضغط ، o تمديد (تخلخل) (بعد Ahorner et al., 1972).

والهدف من دراسة القيمة الأساسية للحركة الأولى هو تحديد إتجاه ونوع الحركة المصاحبة للزلزال وتوزيع محاور الإجهادات الأساسية فى المنطقة التكتونية. وهذه التقنيه أمدت بقوة أداه فى علم الزلازل لكسب معلومات قيمة عن النشاط التكتونى الحالى للقشرة الأرضية.

9.3.2 التركيب الداخلى للأرض كما استنتج من الدلائل الزلزالية

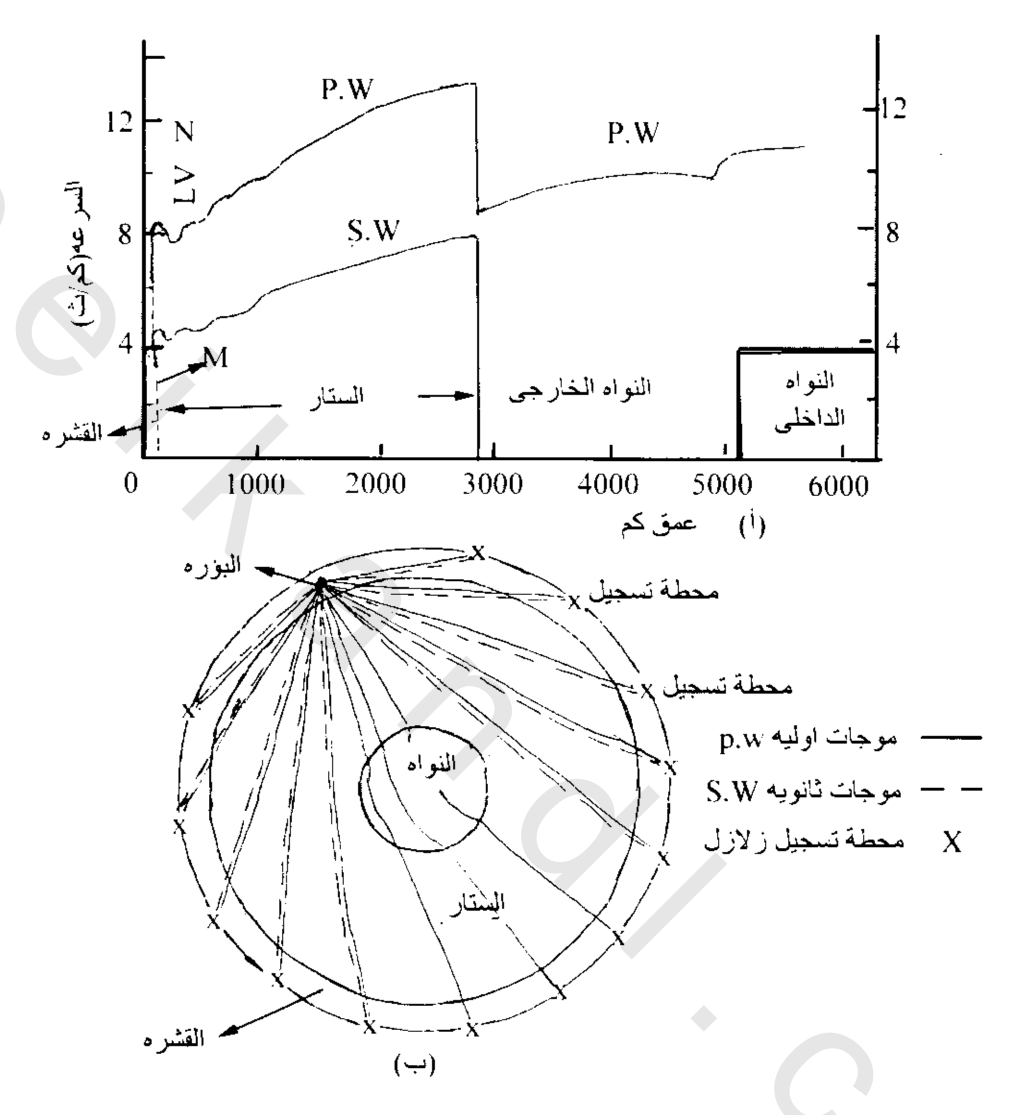
The Earthís Internal Structure as Deduced from Earthquake Evidence:

يوضح شكل (2-17) :أ) منحنى نتائج فترات الزمن لكلا من الموجه الأوليه P_w، والموجه الثانوية S_w لأعماق مختلفة للأرض ويلاحظ من هذا الشكل أن أول وأكبر عدم استمرارية للموجات تدل بين القشرة والستار (عدم استمرارية Moho discontinuity) وقد وجد أن سمك القشرة يتراوح من 6-35 كم تحت أرضيه المحيطات. وأيضا يلاحظ أن أكبر عدم إستمرارية للموجات عند عمق 2900 كم ويحدث عندها انخفاض كبير للسرعة الأوليه P_w من 13.7 كم/ث إلى حوالى 8 كم/ث وبينما تقل السرعة الثانويه من 7.2 كم/ث إلى الصفر وهذا يمثل الحد بين الستار ونواة الأرض (Gutenberg-Wiechert discontinuity). وفى داخل نواة الأرض تبدأ الموجه الأولية P_w فى الإزدياد ولايوجد تسجيل للموجه الثانوية S_w على المنحنى فى هذه المنطقة مما يدل على أن نواة الأرض مادة سائلة. ويوضح شكل 17ب مسار الموجات الأولية والثانوية داخل الكرة الأرضية تبعا لنتائج منحنى فترة الزمن ويلاحظ فى هذا الشكل أن بعض المراصد على سطح الكرة الأرضية سجل S_w, P_w وبعضها سجل P_w فقط وهى المحطات التى حجبت فيها نواة الأرض الموجات العرضية S_w عنها، وهذا يوضح أن نواة الأرض مادة سائلة حيث من المعروف أن الموجات العرضية لاتنتشر فى المادة السائلة.

10.3.2 منطقة الظل Shadow zone:

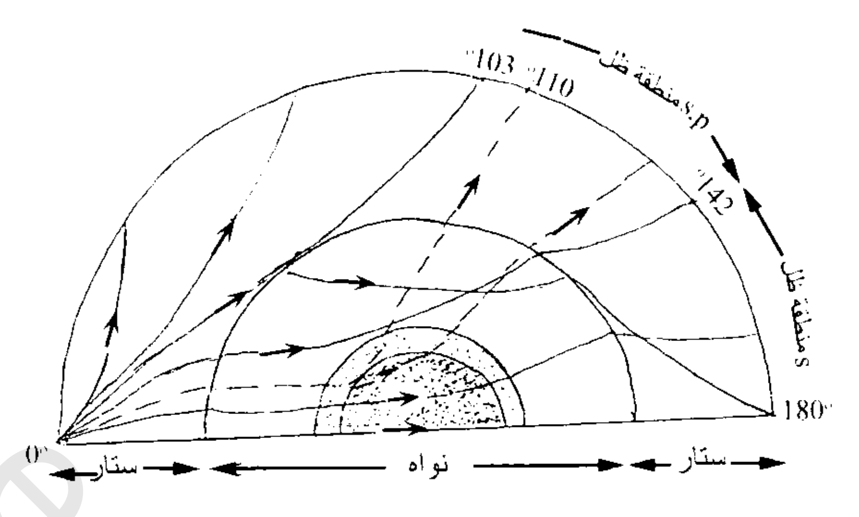
تظهر هذه المنطقة نتيجة الإنخفاض الحاد فى السرعة الأولية عند حد النواة - الستار ونتيجة لدخول أشعة الموجه الأولية للقلب فإنها تنتشر بعيدا عن الحد مسببة ظل فى المنطقة بين 103°-142° من الزلزال. شكل (2-18) وربما لاتكون منطقة ظل كاملة ومن ملاحظة وصول الموجه الأولية الضعيفة فى منطقة الظل ما بين

110°-142° افترض لهمان (Lehman 1936) أنه يوجد قلب داخلى على عمق 5100 كم حيث السرعة الأولية تزيد بكميات ملحوظة وهذه الزيادة فى السرعة الأولية تشير إلى صلابة القلب الداخلى والتى من الممكن أن تمر فيها الموجه الثانوية كما هو موضح فى شكل (2-17).



شكل (2-17): نموذج مقترح للعلاقة بين إنتشار السرعة-العمق فى الأرض M عدم استمرار موهو، LVZ منطقة انخفاض سرعة (بعد أندرسون وهارت Anderson and Hart 1976) نموذج توزيع السرعات الأولية والثانوية على سطح الأرض وداخلها.

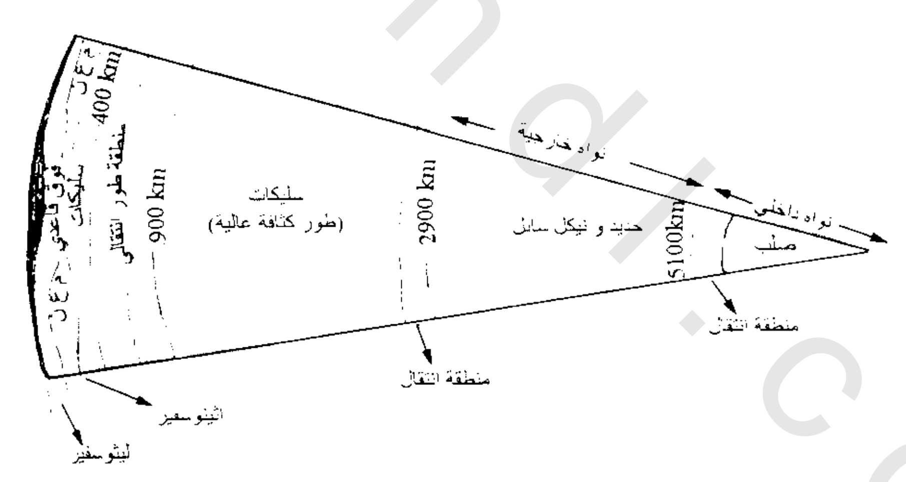
وعلى أساس توزيع السرعة مع العمق قسم بولن (Bullen 1963) الأرض إلى سبعة أغلفة بحدود يحدث عندها انخفاض مفاجئ للسرعة أو التدرج السرعى. وعدلت هذه التقسيمات لأعماق عدم الاستمرارية ومناطق انتقال وأغلب النماذج التركيبية للأرض تشمل على منطقة السرعة المنخفضة The low-velocity zone فى أعلى الستار.



شكل (2-18): طريق مختار لأشعة موجه أوليه ومناطق ظل النواه لموجات أوليه وثانويه

11.3.2 منطقة السرعة المنخفضة (م ع خ) The Low-Velocity Zone (LVZ):

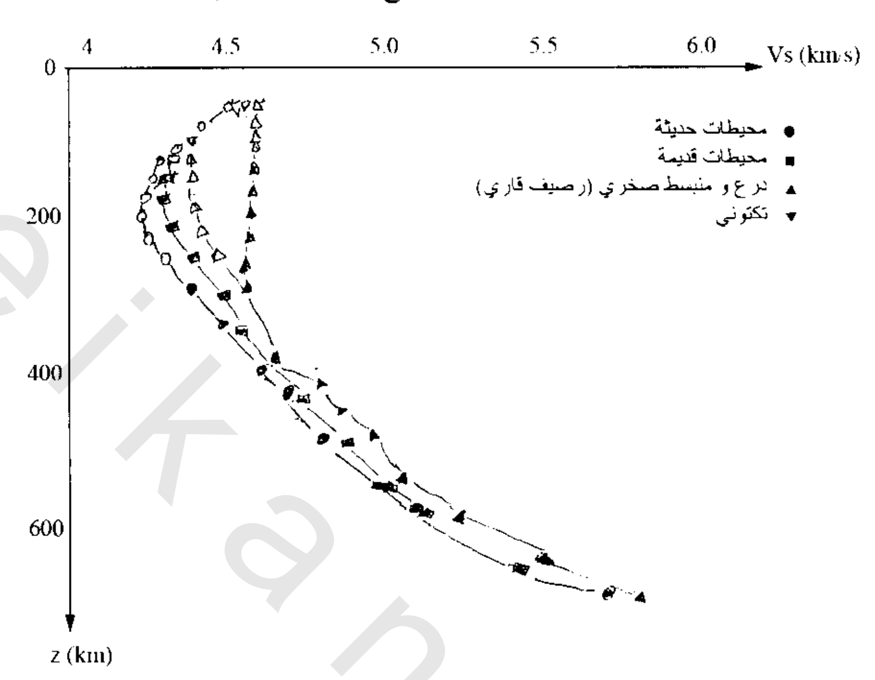
فى شكل (2-17) لوحظ وجود ظاهرة إنخفاض السرعة فى العمق ما بين 100-400 كم وهذه الأعماق تسمى منطقة السرعة المنخفضة وتوجد فى الجزء العلوى من الستار ، وأول من إقترح هذه المنطقة هو جوتنبرج (Gutenberg 1926) والمجادلة عن وجودها إستمرت لعدة عشرات من السنين. ويوضح شكل (2-19) أماكن وجود هذه المنطقة.



شكل (2-19): عدم إستمرارية أساسية، طبقية، ومواد محتملة فى داخل الأرض (معدلة من دهلنجر Dehlinger 1978).

أظهرت دراسات حديثة عديدة (خاصة من التحكم الدقيق للانفجارات النووية تحت الأرض وجود منطقة سرعة منخفضة (م ع ن) فى أعلى الستار بالرغم من وجود تأكيدات قليلة عن عمقها وعلاقتها مع التكتونيه البيئية. ومن دراسة إنتشار الموجات السطحية ومن تحليل نتائج الإهتزاز الحر جاءت كثير من البراهين الموجبة لها، حيث أن المميزات الكبيرة للموجات السطحية وقدرتها على تعيين الجزء الخارجى للأرض عبر طرق طويلة، ويعطى توزيع متوسط السرعة السطحية لأجزاء من الأرض مثل المحيطات التى لايمكن دراستها بسهولة بالموجات الجسمية body waves.

ويوضح شكل (2-20) أربع أنواع من توزيع الموجات السطحية حصل عليها من دراسات إنتشرت لموجات رالى وتظهر (م ع خ ، LVZ) بأحسن نمو تحت المحيطات الحديثة والمناطق التكتونيه، وعلى العكس فإن منطقة الأقل نمو تكون تحت الدروع ومناطق الأرصفة القارية حيث تكون السرعة عالية. هذه النتائج تدل على الإختلاف الأساسى فى تركيب السرعة السطحية تحت الدروع والمناطق التكتونيه الحديثة.



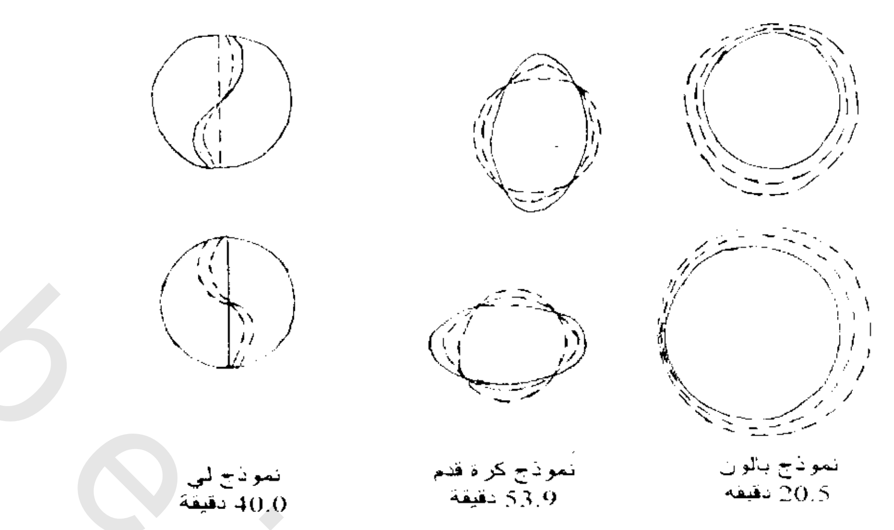
شكل (2-20): نموذج لأربع سرعات سطحية للجزء العلوى من الستار من تشتت موجات رالى Ragleigh. تشير العلامات الخالية إلى ملاءمة خفيفة. وتظهر (م ع ن) بنمو جيد فى الجميع ماعدا الدرع والرصيف القارى (بعد ليفيكى ,Leveque 1980

وهناك دراسات كثيرة ذكرت الإختلاف الإقليمى فى السرعة السطحية وإمتداد العمق لمنطقة السرعة المنخفضة (م ع خ)، واقترحت أيضا هذه الدراسات أن (م ع خ) تمتد من 70-300 كم تحت أغلب المحيطات والمناطق القارية.

وفى الجيوتكتونيه الحديثة فإن الجزء العلوى للأرض الشامل على القشرة والجزء العلوى من الستار يطلق عليه الليثوسفير Lithosphere وسمكه يتراوح بين 60-100 كم ويقع فوق (م ع خ) ويمتاز الليثوسفير بأن الموجات السيزية تكون عالية السرعة وكافية الإنتشار فيه. وحيث أظهرت التجارب المعملية أن الموجات السيزمية تقل وتمتص فى خليط الصلب والسائل، وأيضا ذكر حديثا أن منطقة السرعة المنخفضة (م ع خ) عبارة عن منطقة جزئيا صهيرية من المحتمل (1-10%)، وإذا كانت هذه حقيقة فإن (م ع خ) تأخذ مكانها من الأهمية فى الديناميكا الأرضية حيث يبرهن الجزء المادى المنصهر من (م ع خ) بأنه وسط نموذجى لتزحلق الليثوسفير عليه. وحديثا فإن منطقة السرعة المنخفضة (م ع خ) بالإستينوسفير Asthenosphere ونسبيا هى طبقة لينة ونصف لدنه والتى يعتقد أنها حزام ناقل لألواح الليثوسفير.

12.3.2 الإهتزاز الحر للأرض Free Oscillation of the Earth:

جاءت دلائل كثيرة لوجود مناطق السرعة المنخفضة (م ع خ) من نتائج الإهتزاز للأرض. وحيث أن الأرض جسم مرن لذلك فإنها تخضع للإهتزاز الطبيعى بواسطة الهزات الكبيرة (شكل 2-21).



شكل (2-21): حركات سطحية وفتراتها لثلاث نماذج لإهتزازات حرة للأرض (معدلة من برس وسيفر Press and Siever 1978)

فقد لوحظ من زلزال كالين Chilean الكبير والعنيف فى 22 مايو 1906 تذبذب الأجزاء الداخلية للأرض وحدثت دقات مثل الجرس واستمرت هذه الدقات لمدة حوالى شهر وسجلت بواسطة أجهزة التسجيل الحساسة عند مراصد مختلفة. ويمكن استنتاج مرونة طبقات الأرض من تسجيلات الذبذبات التابعة للزلازل الكبيرة مع حسابات رياضية معملية عديدة. وتشمل الطريقة مقارنة الفترات المراقبة مع التى تحسب لأساليب مختلفة مختارة لنماذج أرضية. ويحدد النموذج الأرضى بواسطة الإختلاف الإشعاعى للكثافة والسرعة السيزمية والتى يمكن استنتاجها الخطى. وتنتج هذه الطريقة توافق قريب مع الفترات الملاحظة لكل النماذج (أساليب) والنتائج التى حصل عليها. كما أنها ترى أن مناطق السرعة المنخفضة (م ع خ LVZ) تحتاج إلى حسابات (تقارير) المراقبة فترة إهتزاز طويلة (أندرسون وهارت Andreson and Hart 1976). وقد وجدت هزات حرة بواسطة الزلازل الكبيرة واستمرت لعدة أيام ولكن سعتها تقل لأن الأرض ليست كليا جسم مرن. ويعطى تخميد الهز الحر براهين نافعة عن عدم مرونة الأجزاء العميقة من الأرض.

13.3.2 التضخم وتوقع الزلزال Dilatancy and Earthquake Prediction:

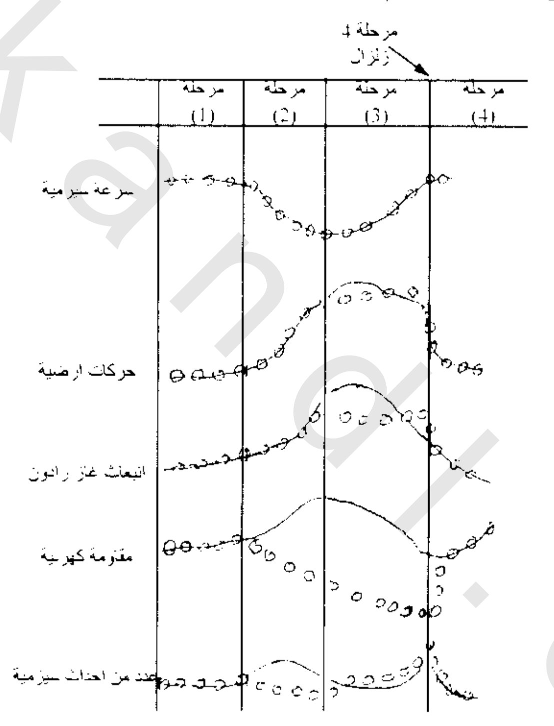
أصبح التوقع أو التنبأ بالزلزال من أهم إهتمامات علماء الأرض وعامة الناس والهيئات الإجتماعية والأكاديمية المشاركة فى حل هذه المشكلة ذات رعاية هامة فى بعض الأقطار التى تعانى من الزلازل المدمرة مثل اليابان والولايات المتحدة المريكية، روسيا، الصين، الهند وأقطار أخرى. وتحت برامج قومية مختلفة عن التنبأ بالزلازل دراسات عظيمة وصلت لعدة إشارات مشجعة والتى دلت على بلوغ الهدف. وأول نجاح عالمى للتنبأ بالزلزال الكبير بعدة ساعات قبل حدوثه تم بواسطة العلماء الصينيين فى 4 فبراير 1975 وكان زلزال هيشنج Haichang فى شمال شرق الصين. والعناصر الآتية التى تشارك للوصول لهذا التنبأ هى:

1.13.3.2 النموذج التضخمى Dilatancy Models:

أظهرت نتائج التجارب المعملية أن ضغط الإجهاد فى عينات الصخور إلى حوالى نصف قيمة إجهاد الكسر حيث تبدأ الشقوق الصغيرة فى الظهور مسببة زيادة محلية فى حجم المسام وتنمو الشقوق الصغيرة كزيادة للإجهاد، عندئذ تندمج هذه الشقوق لتكون واحدا أو أكثر لأساس كسور كبيرة فى مرحلة كسر نهائى. وزيادة عدم

المرونة فى الحجم الناتج للكسور الكبيرة تسمى التضخم. وعندما تصبح الصخور متضخمة فإنه يحدث تغيرات لقياسات فيزيائية أخرى فى المناطق المتأثرة مثال ذلك تغيرات فى السرعة السيزمية والمقاومة الكهربية وإنسياب المياه وإنبعاث غاز الرادون. وقد افترض نموذجين أساسيين يصاحبان التغيرات الفيزيائية السالفة الذكر المؤثرة للتضخم وهذين النموذجين الأساسيين هما الإبتلال والجفاف:

1.1.13.3.2 نموذج البل: موضوع على أساس نظرية إنتشار السوائل فى الفراغات وتبعا لهذه النظرية فإن السرعة فى وسط التضخم الجاف منخفضة عن الوسط المشبع بالماء ، يوضح شكل (2-22) فى المرحلة (2) وسط نمو شقوق التضخم وسط تحت تشبع وتقلل السرعة السيزية وهذا التأثير يظهر فى السرعات الأوليه P_w أكثر من السرعات الثانوية S_w وتنقص النسبة V_p/V_s من 1%-20% من القيمة العادية وكذلك يتوقع إرتفاعها وميلها وفى هذه المرحلة (2) أيضا ينساب الماء خلال فتحات شقوق جديدة مؤثرة على معدل إنبعاث الرادون. وكذلك تقل المقاومة الكهربية للصخور (والتى تعتمد عكسيا على كمية الإلكتروليت الموجود فى الفراغات) إعتباريا بسبب دخول الماء فى منطقة التضخم من المناطق حولها.



شكل (2-22): تغيرات فى معاملات فيزيائية بواسطة نموذج إنتشار تضخم. الدوائر المفتوحة: نشرت بواسطة شولز وآخرين (1973) .Scholz et al، الخط المستمر: نموذج لتقلب التضخم ماجكن وآخرين (1975) .Mjachkin et al.

وكنتيجة لدخول الماء وزيادة ضغط الفراغات فإن الموجه الأوليه P_w تزداد سرعتها (المرحلة 3) وتستعيد قيمتها العادية مرة أخرى. وبزيادة ضغط الفراغات فإن الصخور تتشبع وتضعف إلى نقطة تزيد فيها عدد الزلازل الصغيرة (الخبطات السابقة (الهزات) ويليها بعد ذلك بقليل الهزه الأساسية. وباسترداد السرعة الأولية V_{pw} (أو نسبة $\frac{V_{pw}}{V_{sw}}$) فإن نشاط الزلازل الصغيرة تزيد فى المناطق المحلية وتعتبر هذه دلالة على التوقعات بفترة قصيرة للزلزال الكبير.

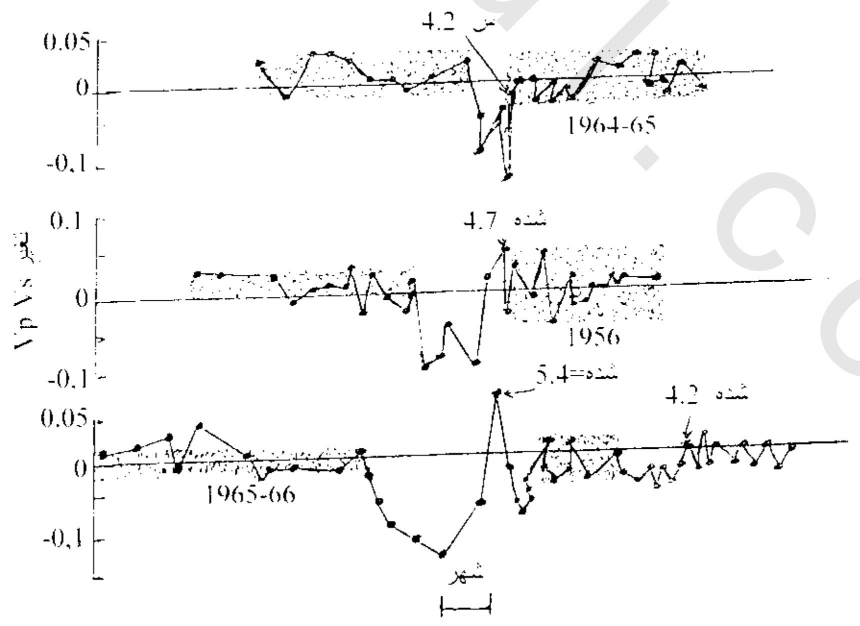
وقد وجد أن علاقة الوقت المنذر (مرحلتى 2 & 3) قريبة لقيمة الزلزال، فمثلا بالنسبة للزلازل الكبيرة ذات قيمة 7.6 ريختر فإن وقت الإنذار لتغير V_{pw}/V_{sw} ربما يتمتد لعدة أعوام.

2.1.13.3.2 النموذج الجاف: وفيه نمو التضخم يلعب قاعدة أساسيه – لكن إنتشار الماء غير مطلوب – فبالنسبة للصخور الجافه فإن المقاومة الكهربيه تقل فى المرحلة 2 من الشكل 22. ونهائيا يحدث الشق عندما تتضخم الشقوق والإجهاد المصاحب لها يشير إلى التركيز فى منطقة محدده. والتضخم الذى يحدث مرة فى مساحة واسعة خلال المرحلة 2 من الشكل 22 يقل فى المرحلة 3، حيث V_{pw} النهائية تعود إلى قيمتها العادية. ويتميز النموذج بتضخم قوى جدا فى بداية الشق المجاور مباشرة كما فى المرحلة 3 من الشكل (2-2). وهذا النموذج الملاحظ يدل على أن منطقة التضخم تكون واسعة أكثر من منطقة المركز.

2.13.3.2 الإنذار السيزمى Seismic Precursors:

تعتمد هذه الظاهرة على الدراسة الواسعة للتغير الزمنى فى السرعة السيزمية الأولية V_{pw} أو فى النسبية بين السرعة السيزمية الأوليه V_{pw} والسرعة السيزمية الثانوية V_{sw}(V_p/V_s) ويبين شكل (2-23) أمثلة لتغير نسبة السرعة V_p/V_s لعدة زلازل قليلة فى بعض مناطق من الإتحاد السوفيتى. وعندما تقل النسبة من 10-15% يلاحظ إنطلاقات قصيرة وصغيرة قبل حدوث الزلزال. وعندما يكون هناك أكبر قيمة لإنخفاض هذه النسبة فهذا يدل على حدوث زلزال وشيك. وسجلت هذه الملاحظة بواسطة العاملين فى هذا المجال من الأمريكان واليابانيون والصينيين وتوقع أجروال وآخرين ١٩٧٥(.Aggarwal et al) بنجاح لزلزال فى منطقة بالولايات المتحده، وذلك على أساس ملاحظة الهبوط المفاجى لنسبة V_p/V_s من 1.73 إلى حوال 1.5 عبر اليومين السابقين حيث حدث التوقع فى 1 أغسطس بزلزال قيمته تتراوح ما بين 2.5 ñ 3 ريختر والذى سوف يحدث فى أيام قليله مقبله وحدث فعلا زلزال بقيمة 2.6 فى 3 أغسطس.

وعلى عكس المثال السابق للزلزال المصاحب لنسبة الملاحظة لشذوذ V_p/V_s فانه لم يحدث تغير مهم فى نسبة V_p/V_s قبل حدوث الزلزال الكبير فى منطقة فالق سان أندروز فى كاليفورنيا.

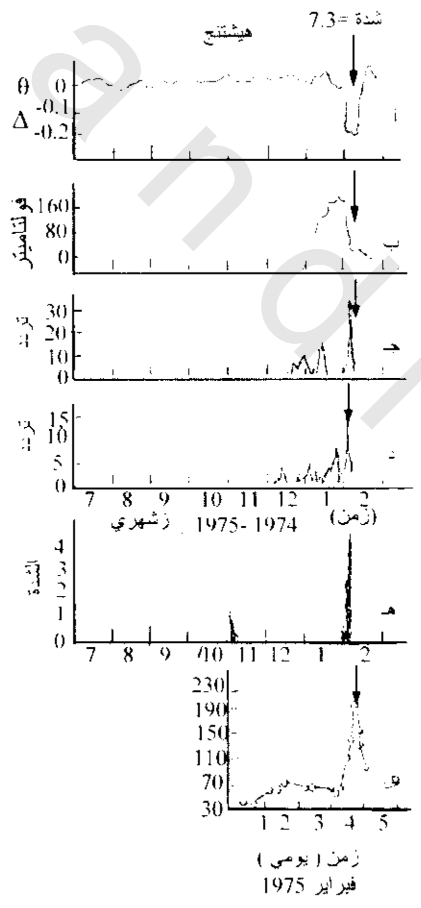


شكل (2-23): تغير فى نسبة السرعة السيزمية V_p/V_s السابقة لبعض الزلازل فى منطقة جاوم بالإتحاد السوفيتى (بعد سئمينوف (Semyenov, 1969

أما مراقبة السرعة السيزمية الناتجة من تفجيرات المحاجر فى مناطق متنوعة لاترى أى شذوذ لـ V_p فى هذه المساحات حيث يحدث الزلزال أخيرا، مع العلم أن التغير الزمنى لهذه السرعات السيزمية لايكون دليل عالى للإنذار.

وقد دلت أبحاث نماذج الإنذار السيزمى وكثير من التقارير الواصفة لشدة النشاط الإنذارى لزلازل صغيرة فى أو حول منطقة المصدر المستقبلية، وكذلك التفسيرات السابقة والتجارب المعملية الإمكانية بأن نمو التشققات الصغيرة فى عينات صخور الاختبار ربما تؤدى للمكسر الرئيسى محدثة الزلزال الرئيسى. ويوضح شكل (24-2) تتابع الهزات السابقة والفترات القصيرة لشذوذ أخرى ملاحظة فى منطقة هيشنج Haichang بشمال الصين قبل حدوث الهزة الأساسية.

ويلاحظ فى هذا الشكل زيادة العلامات السيزمية المحلية خلال اليوم السابق وتبعت بسكون قصير فى النشاط لعدة ساعات قبل حدوث زلزال ذات قيمة 7.3. وهذه الظاهرة للهدوء القصير قبل الهزة الرئيسية قد لوحظت فى عدد من الحالات واعتبرت من الأهمية فى إستنتاج نموذج توقع اقترح بواسطة (تالوان Talawan). ومن المؤكد سهولة معرفة الإنذار السابق للهزه إذا كانت المنطقة المعنية لها نشاط طويل كما فى حالة زلزال هيشنج Haicheng. وفى منطقة الضجيج المترددة بواسطة التزاحم الزلزالى الميزة لها، فهناك أحداث أخرى عامة من الصعوبة معرفتها قبل الهزات.



شكل (24-2): شاذات فترة قصيرة ملاحظة قبل زلزال هيشنج فى 4 فبراير 1975. أ) ميل أرضى ، ب) فرق جهد كهربى، ج) سلوك شاذه غير عاديه، د) تغير مستوى الماء الجوفى، هـ) هزات، و) محتوى غاز الرادون فى العيون الحارة. بعد زهانج وفيو (Zhang and Fu 1981) نشر توقع هنا الزلزال بواسطة علماء صينيون بعدة ساعات قبل حدوثه.

فى عام 1982 صنع ركتاك Rikitake قائمة تشمل الإنذارات الزلزالية للمناطق السيزمية والغير سيزمية وذلك لأزمنة متغيرة ومناطق متغيرة للعالم. ومع هذا فإن إستمرار التوضيح لإنذارات متغيرة مازالت غير كاملة وبالرغم من ذلك فإنه فى بعض الحالات تكون الإشارات واضحة وكافيه لإصدار إنذارات فى الوقت الملائم.

3.13.3.2 الزلازل المستحثه Induced Earthquakes:

هناك عدة زلازل تحدث طبيعيا ولكن حدوثها ناتج من نشاط إنسانى مثل الزلازل الناشئة من:

I) حقن السوائل فى الآبار العميقة.

II) بناء السدود الكبيرة المكونة للخزانات العظيمة.

III) تفجيرات المناجم العميقة.

IV) التفجيرات النووية تحت الأرض.

1.3.13.3.2 الزلزلة المستحثه بواسطة حقن السوائل :Seismicity Induced by Fluid Injection

يعطينا التاريخ حالتين مسئولتين عن تواجد نتائج تتعلق بزلازل مستحثه بواسطة حقن السوائل:

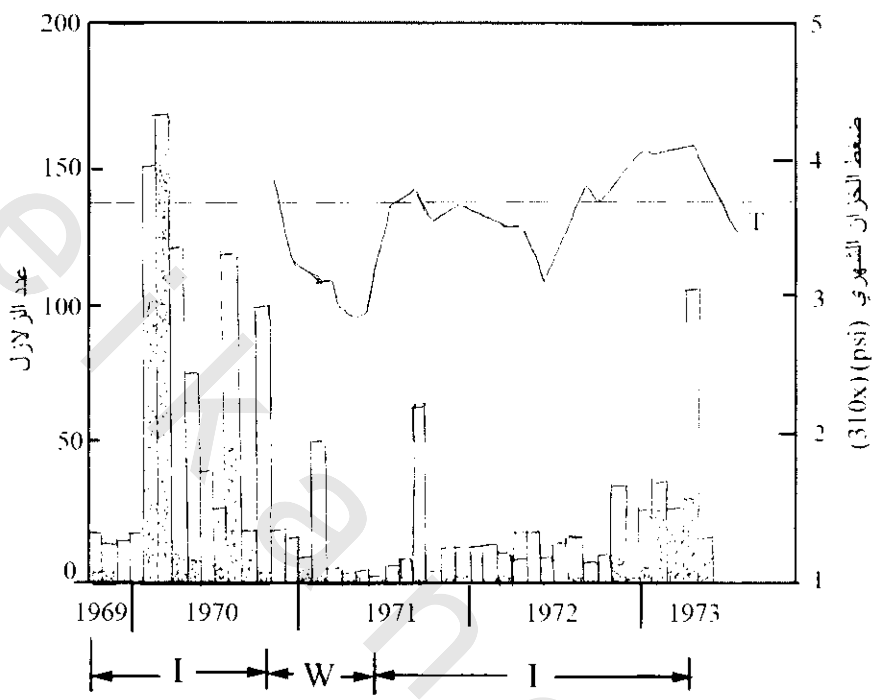
الأولى حقن نفاية الماء فى بئر تصريف ذا عمق 3800 متر وبحجم ماء محقن حوالى $2x10^4$ م^3 كل شهر بصخور جبال روكى بالقرب من دنفر بكلورادو بالولايات المتحدة المريكية أدت إلى نشاط سيزمى استمر على هزات ذات قيمة فيما بين أو تزيد عن 5 ريختر. وبرغم وقف الحقن تماما فى سبتمبر 69 فإن أحداث الزلازل استمرت لعدة سنوات. واقترح ايفنز 1966 Evans) نظرية بأن الاحتكاك عند سطح التصدع لقشرة الأرض تقل بزيادة ضغط الفراغات محدثة ارتفاع للانزلاق.

الثانية ويوضح شكل 2-25 التردد الشهرى لزلازل صغيرة روقبت بواسطة ١٤ جهاز تسجيل زلازل موضوعة عبر حقل زيت ويتغير هذا التردد بحقن أو سحب الماء عند بئر التجربة على عمق حوالى 2 كم. ومن الواضح أن الزلازل تشير للحدوث عندما يزيد ضغط الدق (الإدخال) عن قيمة البدء بحوالى 250 رطل وعلى هذه الملاحظات وضح (ولاس 1974 Wallace) البحث عن التحكم والتخفيف من خطورة الزلزال.

2.3.13.3.2 الزلزلة المستحثه للخزانات Reservoir-Induced Seismicity:

من خلال عشرات الأحداث المعروفة بالمتوسطه والكبيرة زلزاليا تبين أن هناك علاقة بينها وبين ملأ المياه فى الخزانات الصناعية والزلازل المستحثه من هذه الخزانات تبدو بأن لها علاقة بالسدود المرتفعة أكثر من 100 م، وبنيت هذه الحالات على أن ارتفاع السد يكون أكثر دليل لمخاطر الزلزال من حجم الماء. ومن أكبر التقارير الدالة لهذه الأحداث زلزال كونيا Konya فى الهند حيث بلغت قدرته 6.4 ريختر حيث كان إرتفاع السد 103 م. ويقع هذا السد وخزانه فى درع بننسولار Peninsular المستقر وقد ملئ خزانه بالماء وباعتبار المنطقة مستقرة سيزميا فمن عام 1963 بدأت الرجفات أصبحت أكثر تردد إلى أن حدث الزلزال الكبير عام 1967. وبالمثل فإن الزلازل المستحثه المصاحبة للخزانات حدثت لسد هوفر بالولايات المتحدة الأمريكية، سد مونتيونارد بفرنسا، سود كاربيا بروديسيا، سد هسنفينكيانج بالصين، سد كريماستا باليونان وأخرى. وبالعكس فهناك سدود إرتفاعها

من 115-220 متر لم تحدث زلازل مستحثه منها مثل سد أسوان بمصر وأمنيال جونسون بكندا، وبالرغم من دراسات متنوعة كثيرة للخزانات المستحثه سيزميا فإنها تحتاج لفهم أحسن للعمليات. ويظهر أن الخزان سوف ينتج نشاط سيزمى فقط إذا كانت المنطقة المجاورة بها تشققات كبيرة وإجهاد أصلى (داخلى) يكون كافى تقريبا ليسبب انزلاق على التشققات.

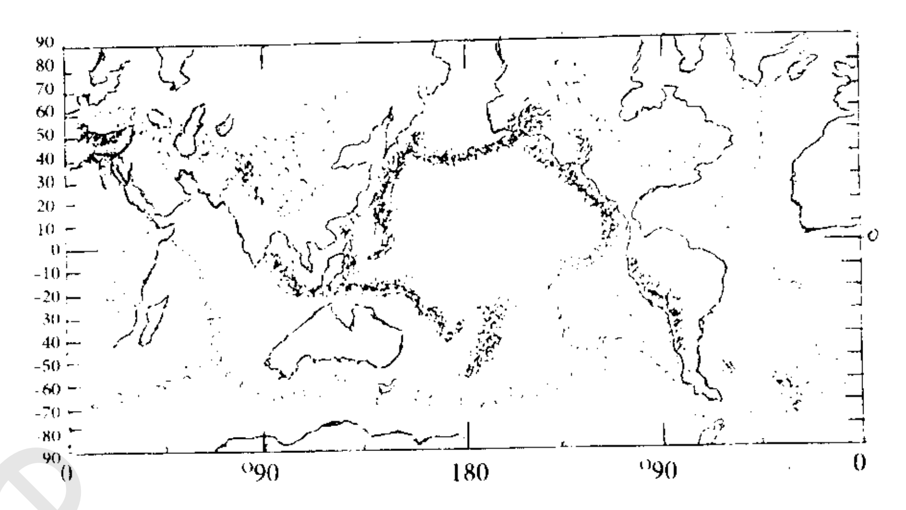


شكل (2-25): التغير الشهرى لعدد الزلازل مع حقن وسحب السوائل بحقل زيت رانجلى Rangley، غرب كلورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. ---,T تدلان على ضغط مدخل الخزان المطلوب بخلق زلزال، W, I فترات حقن وسحب السائل تباعا (بعد ولاس Wallace 1974 وأعيدت من ركتاك Rikitake 1976).

14.3.2 السيزمية والتكتونسيزميه (الرجفة والتكتونيرجفية) Seismicity and Seismotectonics:

الرجفة (السيزمية) الكروية Global Seismicity:

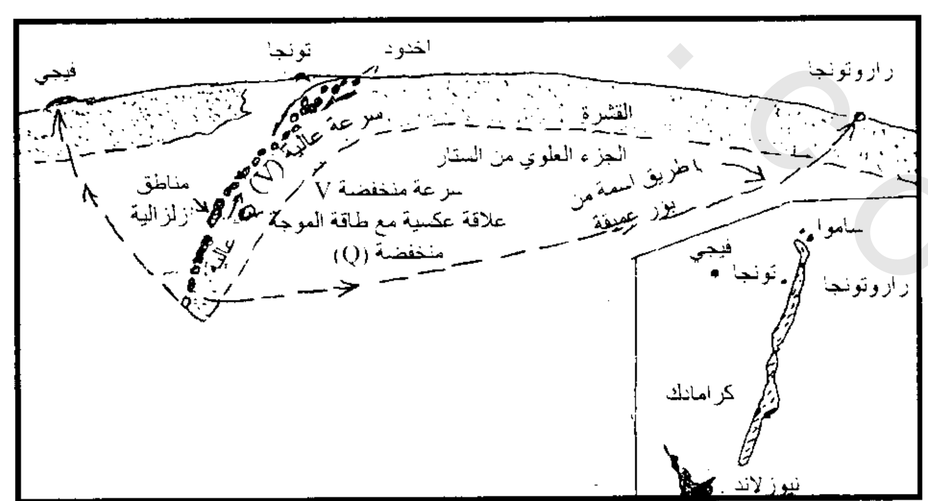
يستخدم تعريف الرجفة (السيزمية) لوصف جغرافية الزلازل خاصة توزيعها، ترددها، وعلاقة طاقتها مع الظواهر السطحية. ويوضح شكل 2-26 توزيع النقط فوق المركز عبر العالم. ومن الشكل يتضح أن مناطق الزلازل حول العالم ليست عشوائيه التوزيع ولكنها مصفوفة فى نماذج تشبه الأحزمة. ويحتوى محيط أقواس جزر حزام المحيط الهادى على حوالى 80% من الزلازل الضحلة (عمق البؤرة اقل من 70 كم)، 90% من الزلازل المتوسطة (عمق البؤرة من 70-300 كم) وأيضا على زلازل عميقة (عمق البؤرة أكبر من 300 كم)، وأغلب الزلازل الباقية الكبيرة تحدث فى حزام البيد (Alpide belt) الممتد من أزورد (Azores) خلال أوروبا وأسيا ليصل مع محيط حزام المحيط الهادى فى جوانا الجديدة (New Guina). وبالإضافة لهاتين المنطقتين الكبيرتين فأهم حزام لزلازل ذات بؤر صغيرة الضحالة يتبع نظام قمة جافة محيطية ممتدة على طول نظام الأخدود شرق أفريقيا. وأحداث عديدة صغيرة تحدث فى أماكن أخرى ولكن إنبعاث طاقاتها تكون غير هامة.



شكل (2-26): توزيع عالمى لتوزيع زلزالى لنقط فوق البؤرة من 961-1967 كما نشرتها مساحة الشواطئ والجيوديسين الأمريكيين (برازنجى ودورمان Barazangi and Dorman 1969)

ولوحظ تردد هزات ضحلة بجوار البراكين وبعض منها (وليست جميعها) تصاحب الإنفجارات البركانيه. وتبعا للتصور الحديث لحركة الألواح (Plate tectonic) فإن الأحزمة الزلزالية تحيط تقريبا حدود الألواح الصلبة للقشرة والتى تتحرك بسهولة على مواد الجزء العلوى للستار ذات الليونة والحرارة. ومازال هناك مجادلة لميكانيكية حركة الألواح بالرغم من النماذج الكثيرة لبعض أشكال تيارات الحمل فى الجزء العلوى للستار ونشاط بؤرة الزلازل العميقة على طول منطقة الميل (منطقة بينيف Benioff zone) والتى تشترك للدفع السفلى للوح القشرة العميق إلى الستار.

وتنتج الزلازل الضحلة عندما تصطدم ألواح القشرة كل ضد الآخر أو عندما تنزلق نسبيا كل على الآخر. ومن جهة أخرى عندما تهبط ألواح القشرة إلى الستار فإنها تعطى زلازل عميقة. شكل (2-27) يوضح مثال لزلزال فى منطقة تونجا Tonga، ويشير أن البؤر تزيد فى العمق غرب قوس الجزيرة إلى أن يصل العمق إلى 600 كم، وكذلك بفرض توزيع البؤرات فإن منطقة الزلازل تكون مائلة بمقدار تقريبى 145° أسفل إتجاه الجانب القارى للقوس.



شكل (2-27): مستوى مائل لبؤر زلزالية (النقط السوداء) تحت جزيرة تونجو. وأكبر عمق يصل إلى 600 كم. وأثر القشرة السفلى موضوع على الأماكن المحليه لبؤر الزلازل. والنطاقات لانتشار الموجات الزلزالية المميزة بسرعة عاليه (V) والعلاقة العكسية لطاقة الموجه (Q) (أولفر Olver 1982).

4.2 الطرق السيزمية للتنقيب Seismic Methods of Prospecting:

1.4.2 مقدمة Introduction:

تعتبر الطرق السيزميه من أحسن الطرق الجيوفيزيائيه المستخدمة لغرض الإستكشاف وأكثرها مباشرة لإستنتاج التركيبات التحت سطحية حيث أنها عند الإستخدام تعطى أقل غموض للنتائج.

أساس هذه الطرق هو قياس الفترات الزمنيه لموجات صناعية مرنة. وهذه الموجات تخرج من تفجيرات أو سقوط أوزان عند أو قرب السطح والتى تسير فى جميع الإتجاهات عن المصدر وتوضع كشافات (Detectors, Geohones, seismometers) حساسة على السطح عند مواضع مختلفة وبمسافات من نقطة التفجير لتلتقط الموجات السيزمية. وتغذى هذه الموجات السيزمية إلى مرسمة ذبذبات أو سلوجراف والتى تسجل حركة الأرض على شريط فوتوغرافى والذى يرى لحظات الهزه. ويستخدم هذا الشريط لتحديد زمن الوصول من نقطة التفجير إلى الكشفات. والزمن يكون دالة لطبيعة الصخور المخترقة، سرعة الموجه خلال الصخور وعدم تواجد الإستمراريه فى السرعة أو الكثافة تشير إلى إنعكاس أو إنكسار الموجه السيزمية تحت السطح.

وتعطى النتائج السيزمية والتى تم الحصول عليها معلومات أكثر أو أقل تحديدا، فعدم الإستمرارية المعينة للخواص الليثولوجية للتكوينات الصخرية وخواص سرعة الموجات تؤدى لمعرفة الأعماق.

2.4.2 تعريفات Definition:

1.2.4.2 القيم المقاسة Quantities Measured:

القيم التى تقاس فى السيزمولوجيه التطبيقية هى التغير فى الزمن والمسافة (من نقطة التفجير إلى الكشافات) بالإضافة إلى خواص التردد وسرعة الموجات. وتستعمل الكميتين الأخرتين فى الطرق الكمية لمقارنة الأحداث فى أجهزة التسجيلات المختلفة.

2.2.4.2 الكميات المحسوبة Computed Quantities:

وهذه الكميات هى: i) السرعة، ii) عمق الإختراق، iii) مسار الموجه. وتعتمد هذه الكميات على ثوابت أو خواص المرونة للأوساط الجيولوجيه التى خلالها تسير الموجات. ومعرفة هذه الكميات الثلاثة تؤدى إلى تحديد توزيع ووضع الوحدات الجيولوجيه التحت أرضية. ثم يتم تفسير هذه الوحدات الجيولوجيه لتركيبات جيولوجيه أو تواجد خواص مميزة من الأوساط المحيطة بواسطة التباين لخواص مرونتها.

3.2.4.2 وظائف الأجهزة السيزمية Function of Seismic Apparatus:

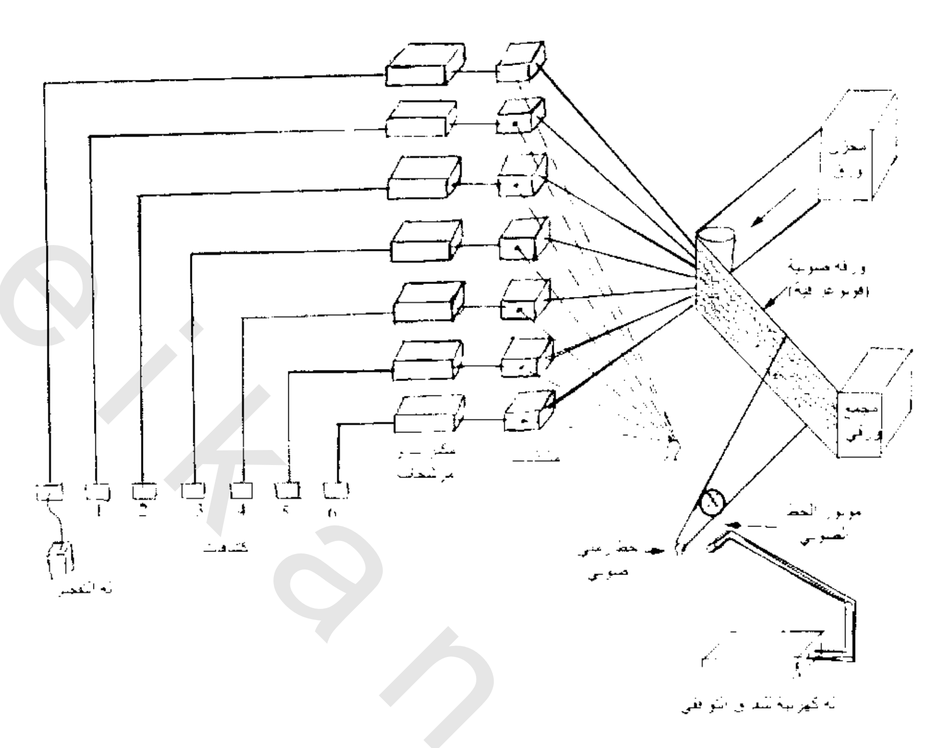
الغرض الأساسى من الأجهزة السيزمية والأعمال الحقلية هو تحديد فترات الزمن من مصدر الإنفجار إلى الكشافات بدقة سواء للموجات المنكسرة أو المنعكسة كما يوضح الرسم التخطيطى شكل (2-28) والذى يتكون من:

1- التفجير Explosion: يولد الموجه المرنة.

2- الكشافات Detectors, Geophones, Seismometers: المسئولة عن تسجيل نتيجة حركة الأرض.

3- نظام المكبرات والمرشحات والمسجلات Amplefiers, Filters and Recorders: تعمل كمسجل ثابت لمركبات معينة من إستجابة الكشافات.

4- نظام التوقيت Timing System: لمقياس الزمن بين لحظة التفجير وإستجابة الكشاف.



شكل (2-28): رسم تخطيطي لوظائف العناصر الأساسية لأجهزة سيموجراف حقلي

1.3.2.4.2 التفجير:

فى التفجير السيزمى عادة يوضع المفجر (الديناميت) فى ثقب على بعد تحت سطح الأرض ويغطى بكمية من الطين أو الطفلة. ويتغير وزن الشحنة تبعا لغرض البحث والظروف الملائمة، فالشحنة الأقل من Ω كجم ديناميت سوف تعطى إنعكاس لعمق يتراوح من 3-5 كم، وعلى العموم فإن هناك علاقة بين العمق وكمية الديناميت المستعملة وهذه العلاقة ممثلة بالمعادلة الآتية:

$$\text{العمق} = 3.8 \times \text{الوزن}^{1/3}$$

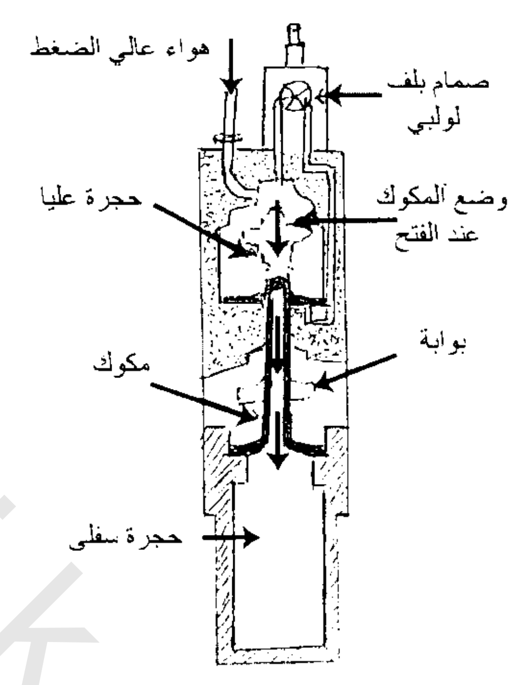
ويفجر الديناميت كهربيا بوساطة ماكينة تفجير. وهناك طرق أخرى لتوليد الموجه السيزمية مثل:

i) إسقاط أوزان.

ii) الذبذبة الميكانيكية.

iii) بندقية الهواء شكل (2-29) وهى عبارة عن مفجر عالى لضغط الهواء بواسطة الكهرباء أو شرارة غازية. وتسعمل كمصدر تفجير تحت الماء.

iv) بندقية الغاز (تفجير لمخلوط غاز البروبان مع الأوكسجين) وتستعمل كمصدر تفجير تحت الماء.

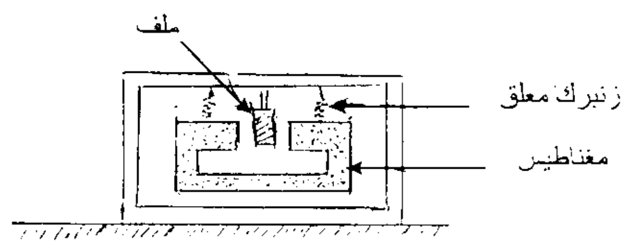


شكل (2-29): رسم تخطيطى لقطاع عرضى لبندقية الهواء

2.3.2.4.2 الكشافات السيزمية Seismic Detectors:

يشار للسماعات الأرضية geophones ككشافات detectors أو مقياس سيزمى seismometer والذى يحول ذبذبات الأرض إلى إشارات كهربيه وبالنسبة للاستكشاف البترولى فإن الكشافات تكون حساسة فقط لذبذبات ما بين 5-100 دورة لكل ثانية لطريقة الإنكسار وما بين 10-150 دورة لكل ثانية لطريقة الإنعكاس. وفى كلتا الحالتين فإن السماعات تكون مسئولة فقط. عن المركبة الرأسية للهزة الأرضية. ويوضح شكل (2-30) أبسط أنواع السماعات (النوع الكهرومغناطيسى) ويتكون من ملف ثابت ومغناطيسى متحرك وفيه يتصل الملف بصندوق الجهاز الذى يتحرك مع الأرض بينما المغناطيسى يمثل كعنصر عزم قصور ذاتى. ويوجد أنواع أخرى مثل نوع الممانعة المغناطيسية، نوع السعة (القدرة) ونوع الضغط. وفى حالة المسح السيزمى البحرى فيستخدم ما يسمى بالهيدروفون hydrophone، وهو عبارة عن سيزمومتر ضغطى حساس، ويعلق فى الماء بواسطة عائم بلاستيك.

جميع أنواع السماعات لها إدراك للإخماد أو الكبت لحركة الذبذبات الناتجة فى الجهاز بواسطة حركة نبضات الأرض، ويتحكم فى درجة الإخماد بواسطة قيمة المقاومة المتصلة عبر النهايات.



شكل (2-30): رسم تخطيطى لسماعة أرضية كهرومغناطيسية (المغناطيسى هو عنصر القصور الذاتى والصندوق يتحرك مع الأرض)

3.3.2.4.2 التسجيل المغناطيسى Magnetic Recording:

كان التطور العظيم فى الأجهزة السيزمية (المرجفية) هو إستعمال الشريط المغناطيسى magnetic tape بدلا من الفيلم الفوتوغرافى كمسجل للأوساط، ويحل الجلفانومتر محل رؤوس التسجيل لكل مرسم. وإختلاف الخروج للكشافات (الجيوفونات) ممكن تسجيله تبعا للإختلاف فى شدة مغناطيسية الشريط (تسجيل مشابه). وبالتعاقب يمكن تعيين الجهد الخارج كفترات منتظمة (مثلا 2 ميللى ثانيه) وتتحول بواسطة محول رقمى إلى مجموعة من الأعداد والتى تنسخ على شريط مغناطيسى رقمى (مسجل رقمى). ومن أكبر المميزات للشريط المغناطيسى هو السماح لتسجيل نطاقات ذبذبات متسعة والذى فيه يحتاج لقطع الموجات السطحية ذات التردد المنخفض. ولتخزين أكثر المعلومات فى مثل هذه التسجيلات فإنه يستخدم كثير من المرشحات السيزموجرافية التقليدية. وإذا رغب فى قطع (إزالة) ترددات أخرى فإنه يمكن إرجاع الشريط بمرشح ملائم وتسجل النتيجة على شريط ورقى. كذلك يمكن مزج مخارج الجيوفونات (الكشافات) المختلفة مع بعضها فى إرجاع الشريط فى أى تجمع مرغوب فيه. ومن الممكن أثناء الترجيع play back بإدخال تصحيحات التجويه والإرتفاع لكل إستدلال trace بواسطة وحدة دخول منفصلة وبإستعمال آلات معينة فإن معالجة النتائج ترتب أوتوماتيكى. وبتطور تسجيل الشريط المغناطيسى والمعالجة الأوتوماتيكية فإنه يمكن القول بأن التسجيل الضوئى لايقدم النتائج بالدقة والسرعة المطلوبة ماعدا إستخدامه فى الإنكسار السيزمى. وربما يكون العمل النهائى لتفسير نتائج التسجيل الإنكسارى دائما يشابه النتائج المأخوذة من التسجيل الضوئى بعد معالجة هذه النتائج.

4.3.2.4.2 المكبرات والمرشحات Amplifiers and Filters:

يجب إستخدام المكبرات الإلكترونية كمرحلة متوسطة بين الإكتشاف والتسجيل ربما تكون هذه مقاومة ممانعة أو أنواع من محولات مزدوجة ولأن الذبذبة تكون فى مستوى حركة الأرض فإن الفولتات الناتجة والتى ربما تغطى مدى من 20000 : 1 فى السعة وبالرغم من أن التسجيل الأوسلوجرافى يستطيع فقط تحليل الإختلاف لرتبة من 10 : 1، لهذا يجب إضافة متغيرات للنظام.

وفى الحقيقة فإن جميع الدوائر تشتمل على سلسلة من المرشحات للتحكم فى خواص التردد لنظام التسجيل. ومن المرغوب فيه عامة استثناء الترددات المنخفضة لكى تمنع الدحرجة الأرضية (مركبات الحركة الأفقية) والتشويش لأنواع أخرى من تدخلها مع الإنعكاس.

5.3.2.4.2 نظام التوقيت The Timing System:

يمكن قياس زمن الأحداث بدقة على التسجيلات السيزمية بواسطة تصوير تراكبات لخطوط رأسية على خطوط أثريه معلومة أو لفترات زمنية بين هذه الخطوط التى تتراوح من 01. إلى 005. ثانيه، والمعايرة الدقيقة لموالفة (ضبط) التشتت تحكم بواسطة المذبذب الذى ينظم ضبط سرعة دوران قرص الموتور ذا الفتحات الضيقة التى تسمح بتحديد شعاع الضوء الخارجى من خلالها على فترات ملائمة للكاميرا. ويعتبر هذا النظام متوافق حيث يوجد خط ثقيل لكل 0.1 ثانيه لسهولة القراءة.

6.3.2.4.2 الحاسبات الآلية للتحكم فى التسجيل: Computers for Controlling in Recording

فى السنوات الحديثة أصبح من الشائع باضطراد وجود حاسبات آليه فى عربة التسجيل لمعالجة متطلبات كثيرة فى إكتساب المعطيات والتى كانت تتم سابقا بواسطة ملاحظة الحقل. فاختبارات تلك الموضوعات كاستمرارية التوصيلات لكل مجموعة جيوفونات (Geophones) على السطح، يمكن تأديتها أوتوماتيكيا بواسطة الحاسب الآلى، والذى يمكنه أيضا أن يرشد العامل خلال المراحل المتعددة فى تجهزي الحقل الإبتدائى. وأيضا يمكن بواسطة الحاسب الآلى ترتيب العمليات وتتبعها أوتوماتيكيا حتى يتم تغييرها بواسطة الملاحظ. ويتم مراقبة عناصر التسجيل بمساعدة وحدة العرض المرئية.

4.4.2 أنواع التنقيب السيزمى Types of Seismic Prospecting:

يوجد طريقتين تستخدم فى هذا المجال هما التسجيل الإنعكاسى والإنكسارى. ففى طريقة الإنعكاس تكون المسافة بين التفجير والكشافات أقل من سمك الطبقة المراد تخريطها، وفى طريقة الإنكسار فإن هذه المسافة تكون أكبر من سمك الطبقة المراد تخريطها.

1.4.4.2 الطريقة السيزمية الإنكسارية The Seismic Refraction Method:

من أول الطرق المستعملة فى التنقيب السيزمى وهذه الطريقة تكون ملائمة خاصة للإستكشاف فى المناطق التى يكون فيها التركيب الجيولوجى له تضاريس كبيرة حيث يوجد على الأقل وجود طبقة ذات سرعة عالية يعلوها تركيب ذا سرعة منخفضة. واستخدمت هذه الطريقة على مقياس صغير بنجاح فى المسح الهندسى لتحديد عمق صخور الأساس لمنشآت هندسية مثل ركائز السدود والكبارى. وهى من أنجح الطرق للكشف عن المياه الجوفيه.

من أكثر المفاهيم الهامة لتفسير هذه الطريقة هى الإستفادة من قوانين البصريات والصوتيات الهندسية حيث حركة مستوى تقدم الموجه السيزمية والأرض. وفتراتها فى الأرض تتبع نفس القوانين المستخدمة فى إنتشار أشعة الضوء للمستويات المتوازية. وذلك باعتبار أن تقدم مستوى الموجه كإنتشارها بسرعة V_o فى وسط ذا خواص مرونة محدد بواسطة مستوى سطحى يسمى الفاصل ويكون الجانب الآخر لهذا الفاصل وسط آخر ذا خواص مختلفة المرونة وتنتشر فيه الموجه بسرعة V_1.

1.1.4.4.2 مسارات الموجه السيزمية الإنكسارية والعلاقة بين الزمن والمسافة لطبقات أفقية

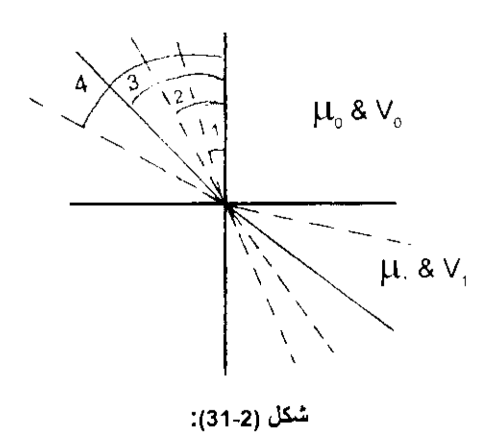
Waves Paths of Seismic Refraction and Time-Distance Relation for Horizontal Layers:

يعبر عن الطاقة التى تمر عبر الحد الفاصل إلى الوسط الثانى بالإنكسار، حيث أن تغير خواص المرونة (السرعة) تسبب حيود لطريقة الأشعة والتى تعتمد على:

i) الخواص النسبيه لخواص المرونة للوسطين المنفصلين بواسطة سطح الإنكسار.

ii) كمية زاوية السقوط الزاوية بين الأشعة الساقطة والعمودى على سطح الإنكسار كما شكل (2-31).

وبزيادة زاوية السقوط I (1, 2, 3, 4) من وسط أقل كثافة إلى أكبر كثافة ستكون هناك زيادة لزاوية الإنكسار إلى أن تصل زاوية السقوط لقيمة تسمى الزاوية الحرجة والتى عندها تكون طاقة أشعة الإنكسار تسير على طول حد الإنكسار. وربما يكون حد الإنكسار بين أى وسطين أفقيا أو مائلا.



شكل (2-31):

من شكل (2-31) وبتطبيق قوانين هندسة البصريات والصوتيات، فإن معامل الإنكسار للوسط الأول μ_o والذى خلاله تخترق الموجه مكونه عدة زوايا سقوط على سطح الإنكسار يكون دائما ثابتا. ومعامل الإنكسار للوسط الثانى μ_1 والسرعة فى الوسط الأول V_o والثانى V_1، i_o زاوية السقوط فى الوسط الأول، i_1 زاوية الإنكسار فى الوسط الثانى فتبعا لقانون سنل Snill فإن

$$\mu_o \sin i_o = \mu_1 \sin i_1$$

وحيث $\mu = \frac{1}{V}$ فإن

$$\frac{\sin i_o}{V_o} = \frac{\sin i_1}{V_1}$$

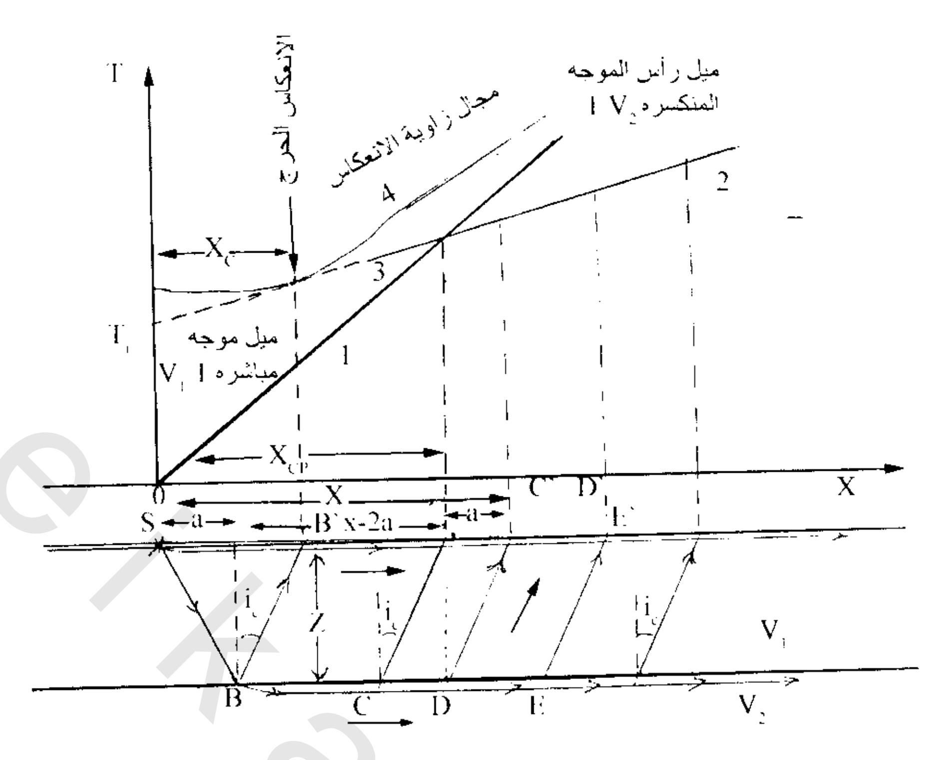
وعندما تساوى زاوية السقوط الزاوية الحرجة أى $i_1 = i_o$ والزاوية الحرجة هى زاوية سقوط يقابلها زاوية إنكسار مقدارها 90^o

$$\therefore \frac{\sin i_o}{V_o} = \frac{\sin 90}{V_1} = \frac{1}{V_1}$$

$$\therefore \sin i_o = \frac{V_1}{V_o}$$

2.1.4.4.2 تخريط الفواصل الأفقية Mapping of Horizontal Interfaces:

باعتبار أبسط حالة لذلك وهى طبقتين بسرعات V_2 & V_1 حيث $V_1 < V_2$ مفصولين بواسطة سطح فاصل على عمق شكل (2-32) وعندما يحدث إنفجار عند S تتحرك الطاقة فى جميع الاتجاهات. وتصطدم الموجه الساقطة SB بالسطح الفاصل عند الزاوية الحرجة i_o منكسرة على طول السطح الفاصل وعندما تسير هذه الموجه المنكسرة على طول السطح الفاصل بسرعة V_2 للطبقة السفلى فإنها ترسل جزء من طاقتها كموجة إلى الطبقة التى تعلوها بزاوية إنبثاق تساوى زاوية السقوط i_o. ويوجد عدد لانهائى من هذه الموجات المنبعثة من الحد الفاصل مثل (\`Ö DD\`, CC\`, BB إلخ) وأول هذه الموجات التى تسير على طول \`BB هى موجة حرجة منعكس (هذه الموجة من أولية الإهتمام فى مجال زوايا الإنعكاس). ويمكن إيجاد قيمة السرعة (تشير لنوع الطبقات) وعمق الطبقة التى تسير فيها الموجات (تعطى صورة عن التركيب الجيولوجى التحت سطحى) بثلاثة طرق:



شكل (2-32): أساس طريقة السيزمية الإنكسارية، ويوضح الرسم منحنيات فترات الزمن مباشرة، موجات حرجة منكسرة (روؤس موجات)، وأخيرا يرى وصول الموجات المنكسرة والمنعكسة بالأعداد 4,3,2,1 على التوالى، ويلاحظ أن الموجات المنكسرة الحرجة يبدأ وصولها بعد المسافة الحرجة X_c ولكنها تدرك الموجه المباشرة عنها تقدير المسافة X_c.

1.2.1.4.4.2 الطريقة العامة:

فترة الزمن لمسافة الشعاع الموجى المنكسر `SBDD

$$T = T_{SB} + T_{BD} + T_{DD`}$$

وحيث أن الزمن = $\frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}}$

$$\therefore T = \frac{SB}{V_1} + \frac{BD}{V_2} + \frac{DD`}{V_1}$$

وحيث أن `SB = DD

$$= \frac{2\,SB}{V_1} + \frac{BD}{V_2}$$

وحيث أن

$Z = SB \cos i_c$

& $BD = X$ ñ $2a$ & $a = z \tan i_c$

& $BD = X\ 2 \tan i_c$

$$\therefore T = \frac{2}{V_1}\frac{Z}{\cos i_c} + \frac{x - 2z\tan i_c}{V_2}$$

$$= \frac{X}{V_2} + \frac{2z}{V_1\cos i_c} - \frac{2z\sin i_c}{V_2\cos i_c} \tag{2-18}$$

وحيث أن

$$V_2 = \frac{V_1}{\sin i_c} \quad \text{(قانون سنل)}$$

$$\therefore T = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z}{V_1\cos i_c} - \frac{2Z\sin^2 i_c}{V_1\cos i_c}$$

$$= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z(1-\sin^2 i_c)}{V_1\cos i_c}$$

$$= \frac{X}{V_2} + \frac{2Z\cos^2 i_c}{V_1\cos i_c}$$

$$T = \frac{X}{V_2} + \frac{2Z\cos i_c}{V_1} \tag{2-19}$$

وحيث أن

$$\sin i_c = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\therefore \cos i_c = \frac{\sqrt[2]{V_2^2 - V_1^2}}{V_2}$$

$$\therefore T = \frac{X}{V_2} + 2Z\frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1V_2} \tag{2-20}$$

وحيث أن X قيمة معلومة وهى المسافة ما بين نقطة التفجير والتسجيل T الزمن المقاس (الفرق بين زمن الإنفجار والتسجيل) وحيث أن من خصائص المنحنى (منحنى فترات الزمن – منحنى الزمن والمسافة) أن مقلوب الميل لكل قطعة يساوى السرعة.

∴ من المعادلة السابقة يمكن حساب Z عمق الطبقة العلوية ذات السرعة V_1

2.2.1.4.4.2 طريقة الزمن المقطوع Time Intercept:

عند X = o، فإن $T = T_i$

حيث T_i هى الزمن المقطوع، ويمكن إيجاده من تقاطع امتداد القطعة الثانية من المنحنى مع المحور الصادى (محور الزمن وفى هذه الحالة تصبح المعادلة (2-19)

$$T_i = 2Z\frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1V_2} \tag{2-21}$$

وبمعرفة T_i والسرعات يمكن إيجاد Z

3.2.1.4.4.2 المسافة Over Cross Distance (X_{co}):

هى نقطة تقاطع القطعتين على المحور السينى وتسمى المسافة بين هذا المسقط ونقطة الأصل بالمسافة الحرجة. وهذه تعنى أن الموجه المباشرة التى تسير على طول الطبقة العلوية ذات السرعة V_1 والموجه التى تنكسر على طول الحد الفاصل يصلا إلى المسجل فى نفس الزمن، أى من المعادلة

$$\frac{C_{co}}{V_1} = \frac{X_{co}}{V_2} + 2Z\frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co}\left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2}\right) = 2Z\frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co}\,\frac{V_2 - V_1}{V_1 V_2} = 2Z\frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2}$$

$$X_{co}(V_2 - V_1) = 2Z\sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}$$

$$X_{co} = \frac{2Z}{(V_2 - V_1)}\sqrt{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}$$

$$= 2Z\sqrt{\frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{(V_2 - V_1)(V_2 - V_1)}}$$

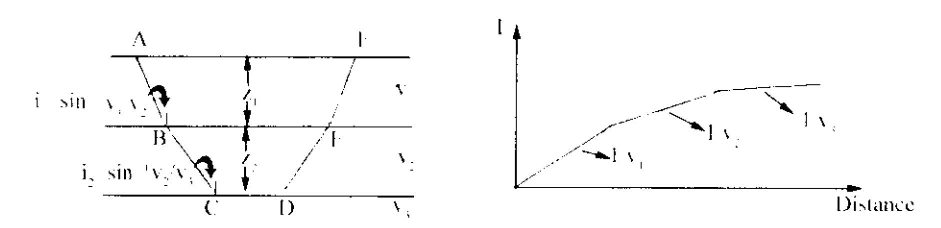
$$X_{co} = 2Z\sqrt{\frac{(V_2 + V_1)}{(V_2 - V_1)}} \qquad (2\text{-}22)$$

وبتحديد X_{co} والسرعات من شكل 34 يمكن إيجاد Z.

ويمكن أن تمتد طريقة تفسير الطبقتين السابقة إلى عدد من الطبقات لسرعات V_1, V_2, V_3, V_4 ÖV_n طالما $V_{n+1} > V_n$ فمثلا حالة طبقتين فسوف يوجد ثلاث قطع على منحنى الزمن*. والمسافة شكل (2-33) ويمكن تحديد السرعات V_1, V_2, V_3 من هذه القطع (السرعة مقلوب ميل القطع). ويمكن تحديد أعماق فواصل الإنكسارات (تمثل عمق الطبقات) Z_1 & Z_2 من تقاطع القطعة الثانية والثالثة مع المحور الصادى (محور الزمن) حيث تمثل هذه التقاطعات الأزمنة المقطوعة $Ti_{(1)}$, $Ti_{(2)}$ وبتطبيق قانون زمن التقاطع يمكن تحديد الأعماق (المعادلة رقم 2-21) والقانون العام لذلك هو

$$Ti_{(n)} = 2\sum_{i=1}^{n-1} \frac{Zi\sqrt{V_n^2 - V_1^2}}{V_1 V_n} \qquad (2\text{-}23)$$

* **ملحوظة هامة:** عدد قطع المنحنى يزيد واحد عن عدد الطبقات

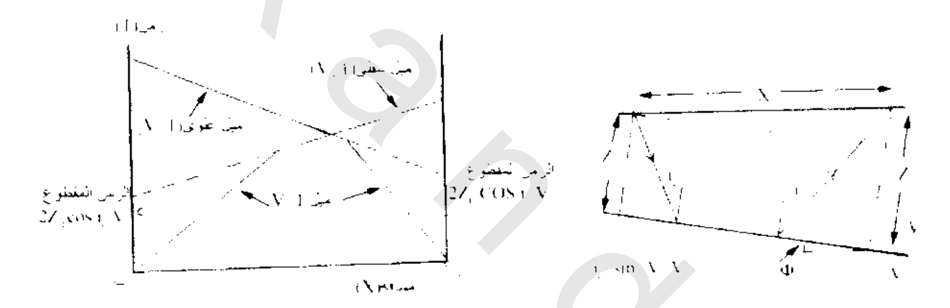


شكل (2-33):

3.1.4.4.2 تخريط الخطوط الفاصله المائلة (طبقات مائلة)

Mapping of Dipping Interfaces (Dipping Beds):

لمعرفة الطبقات أفقية أو مائلة فانه يتبادل وضع نقط التفجير مع آخر كاشف على البروفيل فإن كان رسم العلاقة للزمن والمسافة المتبادلين متساوى الميل للقطع فإن الطبقة تكون أفقية. أما إذا كان الميل غير متساوى فإن الطبقة تكون مائلة، أى الحد الفاصل بين السرعتين V_2, V_1 يكون مائلا، ويمكن تحديد زاوية ميل الحد الفاصل للطبقة الإنكسارية من نتائج منحنى العلاقة بين الزمن والمسافة كما فى شكل (2-34).



شكل (2-34): رسم خطى يوضح إنكسار حرج على طول خط فاصل بميل بزاوية φ، وكلا المجموعتين العلاقة بين الزمن والمسافة تبعا للميل العلوى والسفلى على طول خط الانفجار والانفجار العكسى أب (دبرون Dobrine 1960).

يوضح الشكل (2-34) حالة إنكسار فيها الحد الفاصل بين طبقتين يميل بزاوية φ مع الأفقى. ويعطى الإنفجار والإنفجار العكسى على طول البروفيل أب علاقة بين الزمن والمسافة لطرفى البروفيل، حيث يعطى الميل العكسى للقطعة الأولى لكلا الحالتين سرعة الطبقة العليا V_1، وعلى العكس فإن عكس ميل القطعة الثانية يختلف فى كلتا الحالتين معطيا عكس ميل ظاهرى علوى وسفلى V_u, V_d والذى يرتبط بعلاقة مع V_2 للطبقة الثانية تبعا للمعادلة

$$V_d = V_1/\sin(i_c+\varphi) = V_2 \sin i_c/\sin(i_c+\varphi) \quad (2\text{-}24b)$$

$$V_u = V_1/\sin(i_c-\varphi) = V_2 \sin i_c/\sin(i_c-\varphi) \quad (2\text{-}24b)$$

حيث

$$i_c = \sin^{-1} V_1/V_2$$

وبحل المعادلتين نحصل على

$$\phi = \frac{1}{2}\ (\sin^{-1} V_1/V_d \text{ ñ } \sin^{-1} V_1/V_u) \qquad (2\text{-}25)$$

$$\&\quad i_c = \frac{1}{2}(\sin^{-1} V_1/V_d + \sin^{-1} V_1/V_u) \qquad (2\text{-}26)$$

من المعادلة (25-2) يمكن حساب الميل مباشرة، ويكون الميل المستنتج فى إتجاه خط (التفجير – الكاشف أب). وبوضع بروفيل عمودى على بروفيل شكل (34-2) واتباع الخطوات السابقة، من هذا يمكن حساب الميل الكلى لمنطقة الدراسة واتجاهه وكذلك مضربه.

وبتحديد i_c من المعادلة (26-2) يمكن الحصول على قيمة V_2 من العلاقة $i_c = V_1/V_2$. وكذلك يمكن الحصول العمق فى طرفى البروفيل من علاقة الزمن المقطوع

$$Z_u = \frac{V_1\ T_{int.(u)}}{2 \cos i_c} \qquad (2\text{-}27)$$

$$Z_u = \frac{V_1\ T_{int.(d)}}{2 \cos i_c} \qquad (2\text{-}28)$$

4.1.4.4.2 تأثير الزيادة المنتظمة للسرعة مع العمق

Effect of Uniform Increase of Velocity with Depth:

من أهم دلائل المسح الإنكسارى فى أحواض الترسيب هو إستمرار زيادة السرعة مع العمق، حيث تأثير العمق على السرعة متوقع بشكل كبير للصخور الحديثة والتى ربما ما تزال معرضة لزيادة الإنضغاط بينما الصخور القديمة والتى تعرضت لطول التاريخ للحركات الرأسية والإنضغاط لها سرعات كبيرة لاتعتمد على العمق الحاضر للدفن. والمعدل العام لزيادة السرعة مع العمق وجد فى التتابع الرسوبى بمعدل حوالى 0.3 إلى 1 م/ث لكل متر.

وهناك احتمال لوجود مشاكل فى دراسة إنكسار الموجه فى القطاع الجيولوجى الذى فيه تزيد السرعة باستمرار مع العمق شكل (35-2) وهذه المشاكل تحدث بسبب إنحناء طريق الأشعة للموجه المنكسرة وللزيادة المنتظمة للسرعة مع العمق لذلك فإن أكبر عمق للاختراق يعبر عنه بواسطة المعادلة الآتية

$$V = V_o + KZ \qquad (2\text{-}29)$$

حيث V = السرعة عند العمق Z

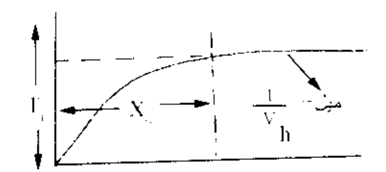
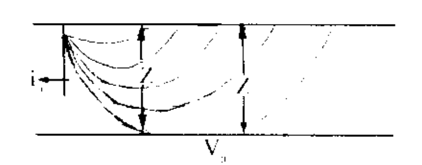
V_o = السرعة عند العمق صفر أى فوق نقطة التفجير

K = ثابت

تطبق هذه المعادلة لتمثل تغير السرعة فى الأحواض الرسوبية. وأكبر عمق للاختراق يعبر عنه بواسطة المعادلة الآتية

$$Z_{max} = \sqrt{(X/2)^2 + (V_o/K)^2 - V_o/K} \qquad (2\text{-}30)$$

حيث X المسافة بين نقطة التفجير والتسجيل، (مجموعة القيم النموذجية لـ V_o & K هى 2400 م/ث & 0.5 م/ث لكل متر تباعا).

شكل (2-35): طرق موجيه ومنحنى الزمن – المسافة لقطاع رسوبى ، حيث تزيد السرعة خطيا مع العمق، لطبقة تعلو سرعة عالية (نيتلتون Nettelton 1940)

5.1.4.4.2 زمن التأخير The Delay Time:

تبعا لنيتلتون Nettelton فإن الزمن المتأخر لأى قطعة من خط سير الأشعة يحدد كزمن مضاف للموجه المركبه الأفقيه لهذه القطعة عند السرعة العالية التى تصل بواسطة خط السير. من شكل (2-36) فإن زمن التأخير للقطعة (ab) من طريق الموجه يكون الفرق بين الزمن المطلوب لتسير هذه القطعة بسرعة V_1 والزمن المطلوب لتسير المسافة (S) بسرعة V_2 ويسمى هذا زمن تأخير D_{12} حيث يدل على (1) تعريف طبقة التأخير، (2) تشير إلى الطبقة التى فيها يضاف زمن التأخير للحصول على الزمن الكلى لمسار الأشعة

$$\therefore D_{12} = \frac{\ell(ab)}{V_1} - \frac{S}{V_2}$$

$$= \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \tan i}{V_2}$$

$$= \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \sin i}{V_2 \cos i} \qquad (2\text{-}31)$$

وحيث $\sin i = \frac{V_1}{V_2}$ إذا $V_2 = \frac{V_1}{\sin i}$

$$\therefore D_{12} = \frac{Z}{V_1 \cos i} - \frac{Z \sin^2 i}{V_1 \cos i}$$

$$= \frac{Z}{V_1 \cos i}\left(1 - \sin^2 i\right)$$

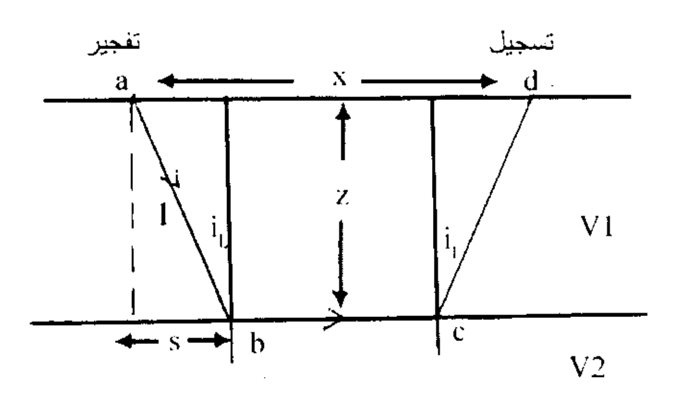
$$= \frac{Z}{V_1 \cos i} \cos^2 i = Z \cos i$$

$$= \frac{Z\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 V_2} \qquad (2\text{-}32)$$

ولهذا فإن الأعماق عند كل من D_1,* D_2** ممكن تحديدها إذا أمكن فصل الزمن المقطوع إلى مركبات زمن التأخير (فى حالة ميل سطح الإنكسار). إذا كان سطح الإنكسار أفقيا فإن قيمة زمن التأخير لكل منهما يساوى نصف الزمن المقطوع.

* D_1 = العمق عند نقطة التسجيل

** D_2 = العمق عند نقطة التفجير



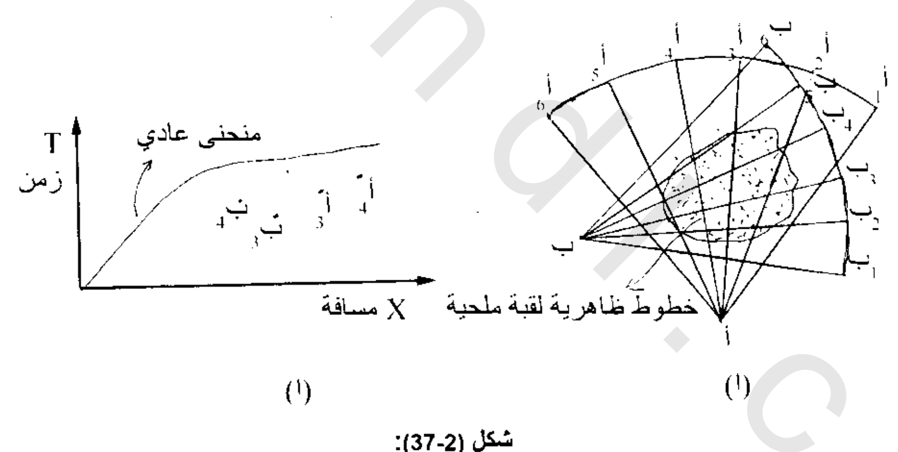
شكل (2-36): فصل الزمن المقطوع إلى زمن تأخير

6.1.4.4.2 ترتيب نقط التفجير والمسجلات فى الاستعمال العادى

Shot and Detectors Arrangement in Common Use:

1.6.1.4.4.2 التفجير المروحى Fan Shooting:

يوضح شكل (٢-٣٧ أ) هذا الترتيب المروحي وفيه توضع الكشافات على مسافات تتراوح من 5-10 كم من نقطة التفجير وفى هذا الشكل تستعمل نقطتى التفجير أ & ب والمتعامدين تقريبا. عند رسم الزمن مع المسافات كما شكل (37 ب) فأى نقطة تقع أسفل المنحنى تشير لوجود مادة ذات سرعة عالية (مثل الملح) فى مكان بين نقط التفجير والكشافات وسمك هذه المادة على طول مسار الموجه تتناسب مع اختلاف الزمن وتسمى الدليل.



شكل (2-37):

2.6.1.4.4.2 التفجير الخطى Profile Shooting:

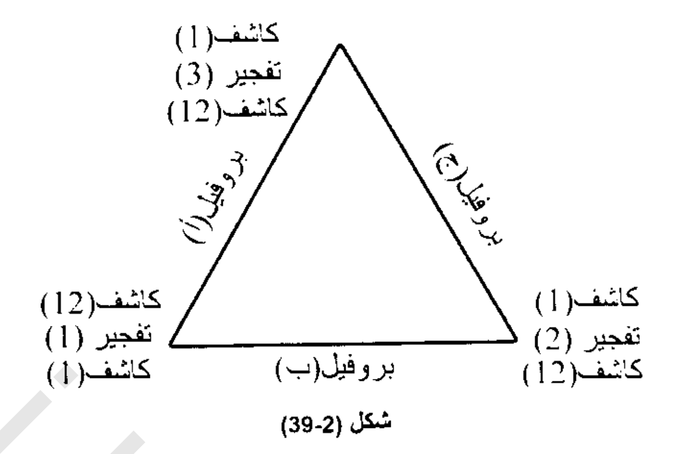
يوضح شكل (2-38) نموذج لبروفيل (الخط) إنكسار فمثلا نقط التفجير أ، أ` توقد بالتتابع فإن التسجيلات الإنكسارية تلتقط بواسطة الكشافات من $أ_1$ إلى $أ_{12}$.

وعامة فإن نقط التفجيرات (أ ، ب ، ج) يعكس وضعها مع آخر الكشافات (أ`، ب`، ج`)

شكل (2-38):

iii- التفجير المثلثى Triangle Shooting:

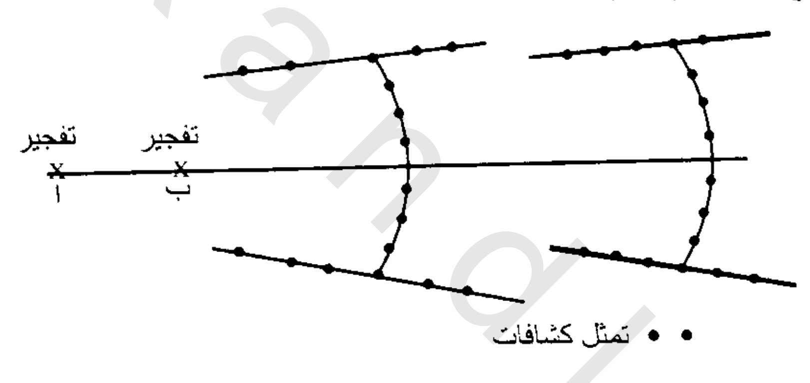
كما هو موضح فى شكل (2-39)



شكل (2-39)

iv- التفجير القوس Arc Shooting:

كما هو موضح فى شكل (2-40).



شكل (2-40)

7.1.4.4.2 تطبيقات طريقة الانكسار Application of the Refraction Method:

1.7.1.4.4.2 تخريط الفوالق Mapping of Faults:

1.1.7.1.4.4.2 طبقة ذات سرعة عالية High velocity bed:

إذا أثر الفالق على طبقة ذات سرعة عالية (الطبقة السفلى) وكسرت كما فى شكل (2-41) وفى هذه الحالة يتكون منحنى الزمن-المسافة من ثلاثة أجزاء:

1- الجزء السفلى X_n وتكون قطعتها ذات ميل $\frac{1}{V_1}$ وتمثل سطح موجة الإنتقال.

2- الجزء الآخر والذى خلاله تتبع الأشعة نفس الطريقة كما فى حالة الطبقة العادية ويكون ميل قطعتها $\frac{1}{V_2}$.

3- خلف X_n سوف تصل الإشعاعات إلى السطح بواسطة خطوط واضحة منقطة، ويدل ذلك على أنه عند المسافات الكبيرة تتحول هذه الإشعاعات إلى فرق زمن تبعا لـ V_2. إذ خلف X_n فإن ميل المنحنى سوف يزيد تدريجيا إلى $\frac{1}{V_1}$ ويكون الزمن على هذا الجزء من المنحنى كلآتى

$$T = \frac{Z_1 \cos i}{V_1} + \frac{S}{V_2} + \frac{\sqrt{(X-S)^2 + Z_1^2}}{V_1} \tag{2-33}$$

حيث S المسافة إلى أثر الفالق وممكن حسابها بتحديد X_n لأن

$$S = X_n \text{ ñ } X_1 \tan I \tag{2-34}$$

شكل (2-41):

2.1.7.1.4.4.2 رمية فالق سفلى Downthrow fault:

إذا كانت الطبقة ذات السرعة العالية تحت طبقة ذات سرعة منخفضة متصدعة رأسيا بعمق Z_2 فإنه من بروفيل الإنكسار المتعامد على مضرب الفالق يمكن إكتشاف الفالق وحساب رميته Z_2 كما هو موضح فى شكل (2-42) حيث يوجد إزاحة فى قطعة فترة الزمن التابعة للسرعة العالية V_2، فإذا كانت فترة الزمن ΔT موجبة لرمية الفالق السفلية حيث رمية الفالق ($Z_1 >> Z_2$) فإنه يمكن حسابها من المعادلات الآتية:

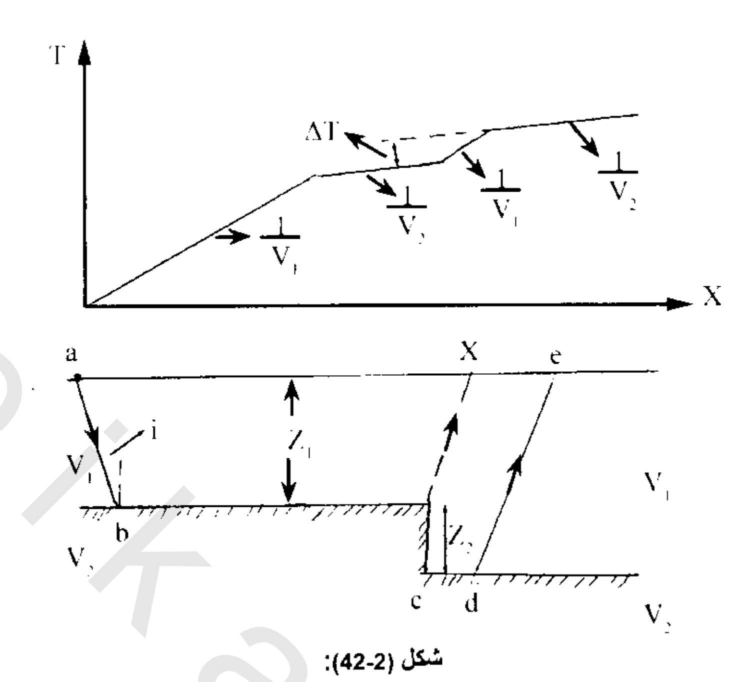
$$T_1 = \frac{2 Z_1 \cos i_c}{V_1} + \frac{X}{V_2} \qquad \text{and}$$

$$T_2 = \frac{2 Z_1 \cos i_c}{V_1} + \frac{X}{V_2} + \frac{(Z_1 + Z_2)\cos}{V_1}$$

$$\therefore \Delta T = T_2 - T_1$$

$$= \frac{Z_2 \cos i_c}{V_1}$$

$$\therefore Z_2 = \Delta T \ V_1 V_2 / \sqrt{V_2^2 - V_1^2} \tag{2-35}$$

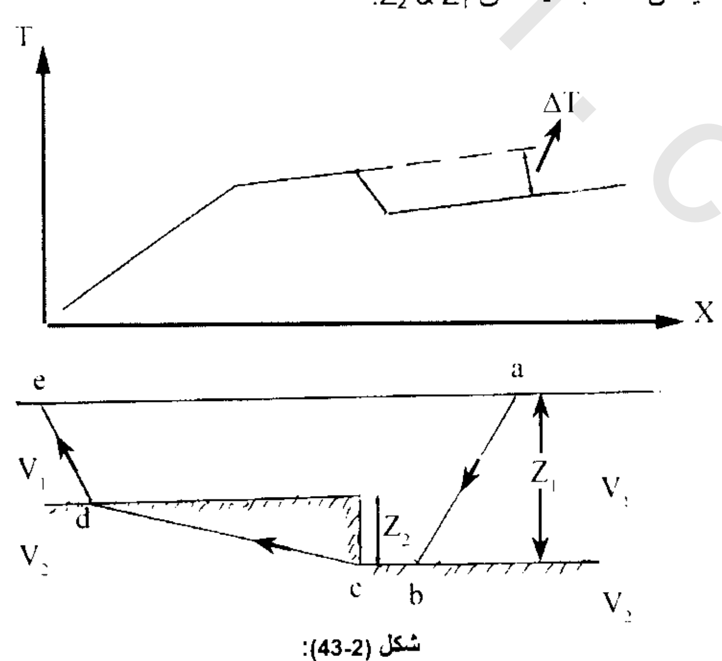


شكل (2-42):

يوضح شكل (2-43) تبادل الأماكن بالنسبة لنقطة التفجير وأماكن وضع الكشافات أى أن نقطة التفجير فوق الرمية السفلية للفالق والكشافات فوق الرمية العلوية للفالق وتصبح T_2 كالآتى:

$$T_2 = \frac{Z \cos i}{V_1} + \frac{X}{V_2} + \frac{(Z_1 - Z_2)\cos i}{V_1} \tag{2-36}$$

وبنفس الطريقة السابقة يمكن حساب الأعماق Z_1 & Z_2.



شكل (2-43):

2.7.1.4.4.2 قبة الملح Salt Dome:

مرور الموجات السيزمية خلال قبة الملح (شكل 2-37) تسبب نقص بين فترات الزمن نتيجة الأزمنة المرشدة عند بعض الكشافات وبواسطة المروحة الثانية والتى تقريبا عمودية على المروحة الأولى يستطاع تحديد مكان وامتداد القمة الملحية ومن مناطق الاستكشافات الحديثة فإن طريقة التفجير المروحى مازال ملائما حيث تغطى مساحات واسعة بالمقارنة بالطرق الأخرى. وأساسا فإن هذه الطريقة تستعمل أيضا لتحديد الطيات المحدبه الكبيرة أو الوديان المدفونة وذلك بحساب زمن التأخير الناتج من التركيبات الملائمة.

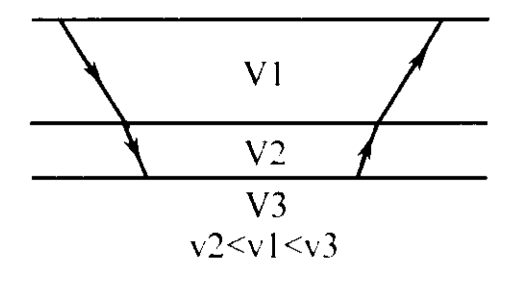
8.1.4.4.2 قابلية التطبيقات والتحديدات لطريقة الإنكسار

Applicability and Limitations of the Refraction Method:

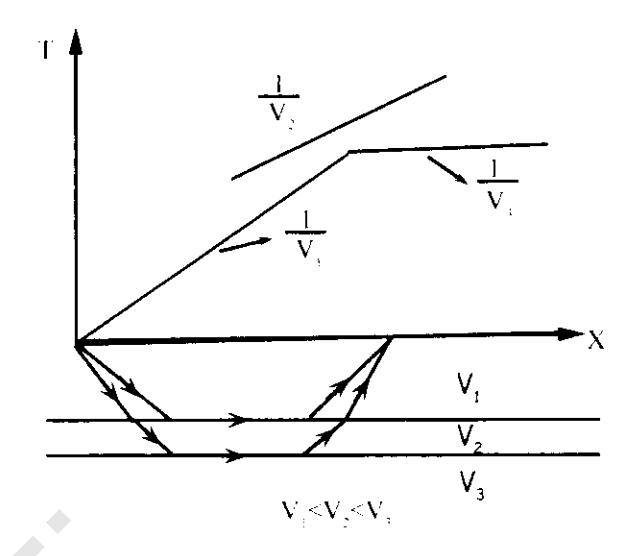
المسح الإنكسارى له بعض المميزات الهامة تفوق عمل الإنعكاس. ففى المناطق البكر حيث لايوجد أى معلومات ملائمة عن الجيولوجيا التحت سطحية فإن طريقة الإنكسار تكون ذا قيمة للاستكشاف، ومن نتائج المسح الإنكسارى يمكن معرفة السرعات السيزمية وهندسة التكوينات، وعلى العكس فطريقة الإنعكاس تعطى فقط معلومات عن هندسة التحت سطحية وذلك فى غياب نتائج السرعة. والمعلومات الإضافية للسرعات غالبا ماتكون ذات استعمال كبير عند الربط والتعريف للتكوينات المختلفة عند تخريطها. ولهذا السبب فإن الغالبية العظمى لدراسة القشرة الأرضية العميقة لابد من استنتاجها من الاستطلاعات الإنكسارية. ولطريقة الإنكسار أيضا ميزة هى السرعة والإقتصاد لبحث الأعماق الضحلة (مثل مشاريع الهندسة المدنية لدراسة عمق صخور الأساس).

وعلى الجانب الأخر فإن طريقة الانعكاس تمتاز عن طريقة الإنكسار بالآتى:

أولا: طريقة الإنكسار لايمكن اكتشافها لطبقة ذات سرعة منخفضة V_2 محصورة بين سرعتين أكبر منها أحدهما أعلاها ذات سرعة V_1 والأخرى أسفلها ذات سرعة V_3 وبالتالى لايمكن تحديد سمكها ويوضح شكل (2-44) هذه المشكلة. لذلك من الصعب تحديد السرعة V_2، وينتج أيضا من تأثير وجود الطبقة المتوسطة ذات السرعة المنخفضة زيادة فى تقدير العمق للسطح الكاسر التحتى وهذه الزيادة تعتمد على سمك الطبقة ذات السرعة المنخفضة واختلاف محتوى السرعة.



شكل (2-44): طبقة ذات سرعة منخفضة محصورة بين طبقتين ذات سرعات عالية



شكل (2-45): طبقة رفيعة جدا ذات سرعة V_2 بين طبقتين وتظهر هذه الطبقة على الوصول الأول لسيزموجرام إنكسارى، ولكنها تعطى إشارة ثانية صالحة للإستعمال إذا كانت الشوشرة ليست عالية (دكس Dix 1966)

ثانيا: يوضح شكل (2-45) أنه فى حالة ما تكون الطبقة المتوسطة رفيعة السمك بالنسبة لعمقها فإن موجة الإنكسار فيها لاتصل أبدا للسطح كوصول أولى مثلا الطبقة الأولى (V_1) تظهر بوضوح وكذلك الطبقة الثالثة (V_3) ولكن الطبقة المتوسطة (V_2) الرفيعة نسبيا لا تظهر أبدا كوصول أولى ولهذا تختار من خلفية الطاقات المختلفة والتى عادة ما يكون تحديدها صعب. والخطأ الناتج من مثل هذه الطبقة المختفية تجعل حساب العمق ضحل جدا أى أن الغطاء الصخرى يفترض أنه أقل من الحقيقة بالإضافة لهذا فإن طريقة الإنكسار غير ملائمة لتوضيح التركيب بالتفصيل، ومن الأفضل إنتاج نموذج طبقة بسيطة والذى يكون أكثر تبسيطا من التركيب المعقد. وتفترض الطريقة أيضا أنه لايوجد تغير جانبى للسرعة خلال الطبقات.

9.1.4.4.2 طرق التفسير Methods of Interpretation:

من المهم فحص العلاقة الخطية للزمن – المساحة الناتجة عن عملية المسح السيزمى الإنكسارى وذلك لإيضاح التفسير المتوقع، ومن هذه المتطلبات:

أ) ضبط نوع النتائج المطلوبة.

ب) تقرير طريقة التفسير المستخدم بالحلول البسيطة لخطوط الطبقات والإنكسارات المائلة، وأكثر التحليلات تؤدى لنتائج غير دقيقة لحالات عدم إنتظام الإنكسارات لذلك وضعت الضوابط الآتية:

(i) عزل فترات الزمن الغير حقيقية (المزيفة) للوصول الأولى للموجه بسبب اللقط الخاطئ لأول وصول أو التنقيط الخاطئ لقيمة فترة الزمن الصحيحة.

(ii) تغير السرعة أو السمك فى مناطق قرب السطح.

(iii) التغير فى طوبغرافية السطح.

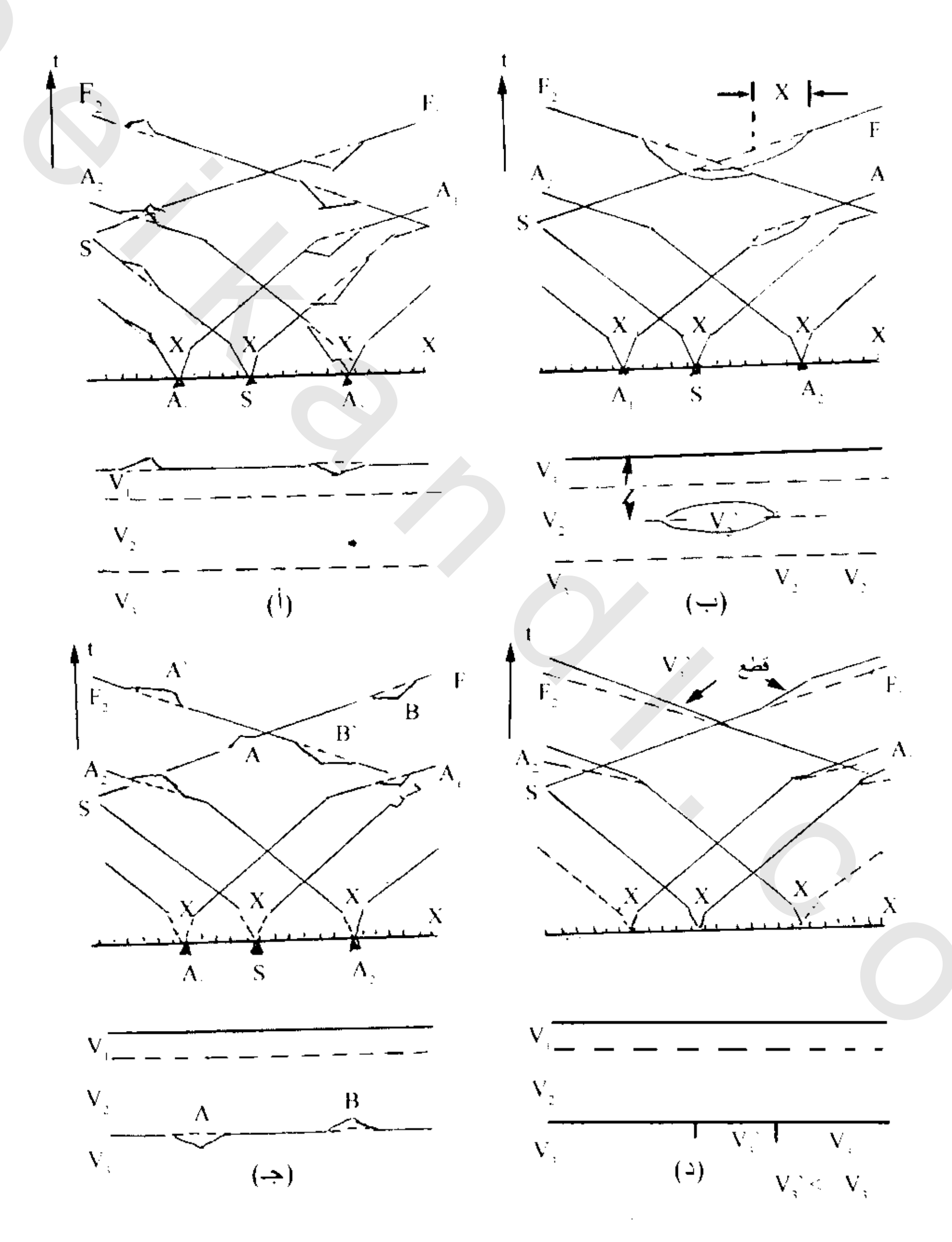
(vi) نطاقات اختلاف السرعات خلال معدل متوسطات العمق.

(v) تحديد ظواهر طوبغرافية على خلاف خط الإنكسار.

(iv) التغير الأفقى فى سرعة الإنكسارات.

بعض شاذات الزمن المصاحبة فى الضوابط iii ,iv والموضحة فى شكل (2-46) بدون تميز تنعيم نقط الإلتقاء فى نتائج فترات الزمن والتى ربما تعوق ظواهر هامة وبالتالى تنتج تتابع خاطئ فى التفسير.

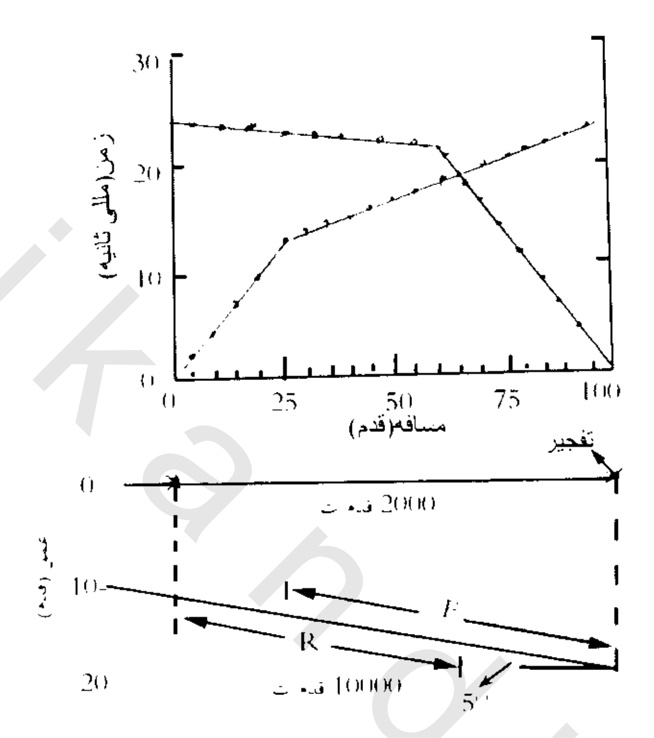
وقد نشرت عدة طرق مختلفة انتهت بالتفسير التقريبى، هما طريقة تأخير الزمن، وطريقة إنشاء مقدم الموجه. وأكثر طريقتين استخدمتا هى طريقة هاجدورن Hagedoorn 1959 (جمع – طرح)، وطريقة التبادل العامة (بالمر Palmer 1980). وتشير الطرق الحديثه لتعديلات الطرق الأوليه أو إنشاء طرق حسابات جديدة.



شكل (2-46): شذوذ فترات زمنيه وسببها المقابل: أ) نتوء وقمة، ب) عدسات بسرعة V_2' فى طبقة 2، ج) قمة ونتوء عند فاصل بين طبقة 2 ,3، د) رأسيا طبقة ضيقة بسرعة V_3' خلال طبقة 3 (أودن Odins 1975، ويتلى Whitely 1977).

1.9.1.4.4.2 الطيف Phantoming:

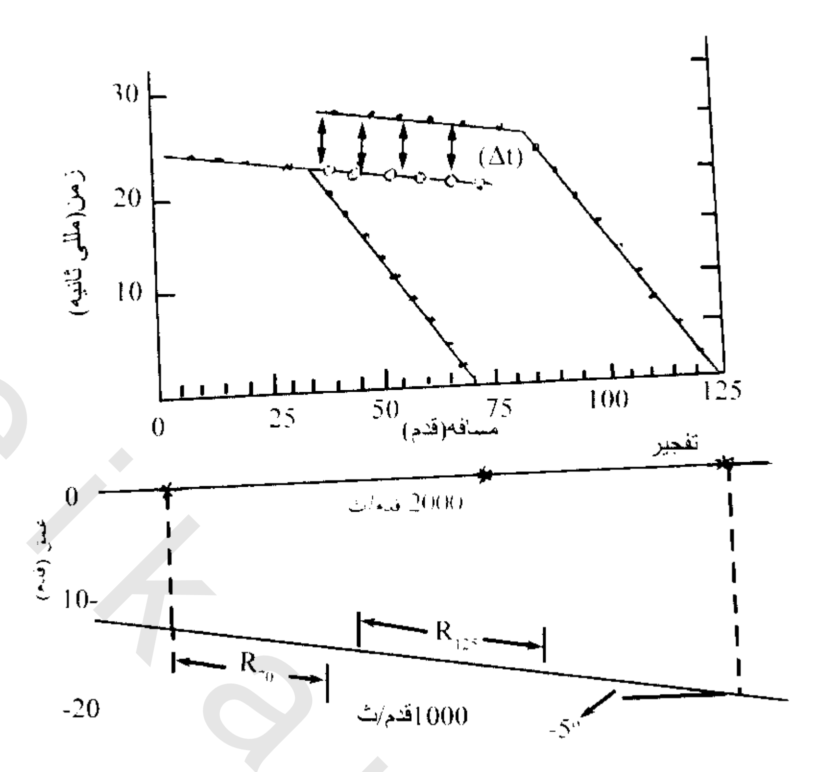
يحصل على معطيات ميل الإنكسارات التحت سطحية بواسطة عكس نقطة التفجير ونقط التسجيل على طول جزء من الكاسر وليس عليه كلية (شكل 2-47) (لانكستون Lankston 1990)، حيث أن نتائج السرعة الظاهرية التى تأتى من الميل العلوى أو الميل السفلى مشتقة من القطع المختلفة للكاسر خطى، عندئذ فإن إستخدام مثل هذه السرعة الظاهرية لاستنتاج سمك الطبقة وزاوية الميل تكون مضبوطة.



شكل (2-47): طبقات متراكبة تحت سطحية غطت بانفجار فى إتجاه وعكسه عبر ميل منكسر وعلاقة الزمن والمسافة المقابله له (لانكستون Lankston 1990)

إذا لم يوجد تغير جانبى فى سرعة الإنكسار أثناء تحريك نقطة الإنفجار والكشافات، عندئذ تكون نتيجة شكل علاقة الزمن-المسافة من منبع الموجه المتولده من نقطة التفجير عند زيادة الإزاحة هو تأخر فى فترة الزمن، ولكن لها نفس التدرج الذى ينتج لو كانت نقطة التفجير على النهاية المقابلة (شكل 2-48). التوازى الملاحظ فى الرسم لشكل فترات الزمن يدل على أن الإختلاف فى فترة الزمن ثابت لكل مكان كاشف. بطرح فرق هذا الزمن عن زمن وصول الموجه الأولى (الأصلية) من الكاسر فى الحالة الثانية، أى بعد إزاحة نقطة التفجير، عندئذ تكون فترات الأزمنة المخفضة المسجلة من التفجير الأول عبر المسافة بين النهاية والتفجير والمسافة المشتركة المتقاطعة بينهما هى وصول الزمن المزاح والذى يعرف بالوصول الطيفى Phantom arrivals (ردباث rodpath 1973) والعملية نفسها تسمى الطيفى phantoming.

تؤدى هذه العملية للحصول على معلومات للوصول الأول الحقيقى بين النهاية والتفجير والمسافة المتقاطعة الأصلية والتى تسجل من التفجير الأول.



شكل (2-48): رسم خطى لفترات الزمن والمسافة ومدى التغطية التحت سطحية من تراكب سرعتين مختلفتين الإتجاه، الدوائر المفتوحة تشير لوصول طيفى (لانكستون Lankstone 1990)

2.9.1.4.4.2 طريقة هاجيدورن (جمع-طرح) Hagedoorn (Plus-Minus) Method:

فى هذه الطريقة يفترض أن الطبقات متجانسة وكذلك وجود فوارق كبيرة بين السرعات وزاوية ميل الكاسر تقل عن 10°. تستخدم هذه الطريقة الزمن المقطوع والزمن المتأخر فى حساب العمق للكاسر تحت أى كاشف. من شكل (2-47) يمكن إيجاد الزمن الكلى للتأخير. حيث يعادل مجموع تأخر الزمن عند نقطة التفجير وتأخر الزمن عند الكاشف.

الزمن الكلى للتأخر

$\delta t = T_{SG} - T_{PQ}$

$T_{SG} = (SA + BG)/V_1 + AB/V_2$ &

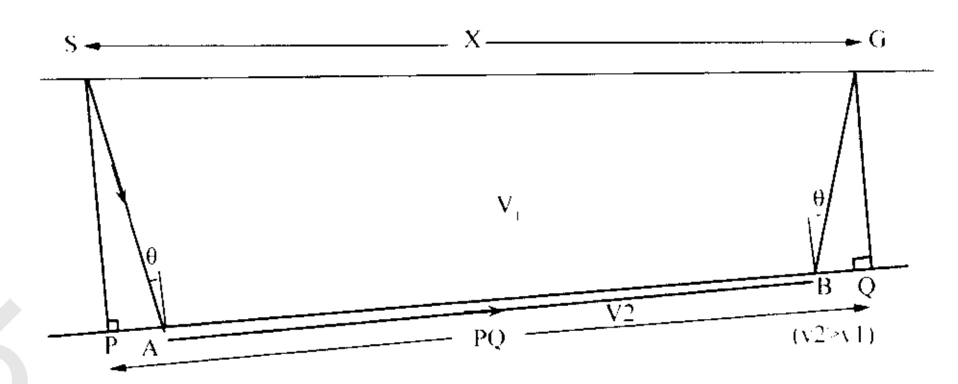
$T_{PQ} = PQ/V_2$

$\therefore \delta t = (SA + BG)/V_1 - PQ/V_2$

$= (SA + BG)/V_1 - (PA + BQ)/V_2$

$= (SA/V_1 - PA/V_2) + (BG/V_1 - BQ/V_2)$

$= \delta t_s + \delta t_G \approx T_{SG} - X/V_2$



شكل (2-49): اساس التأخير الزمنى

وبالتالى فإن

$$T_{SG} = X/V_2 + \delta t_S + \delta t_G \qquad (2\text{-}37)$$

حيث δt_S & δt_G زمن التأخير عند نقطة التفجير والكاشف فى حالة الكاسر الأفقى فإن $\delta t = t_i$ حيث t_i الزمن المقطوع من شكل (2-32) (العلاقة T & X).

تحدد طريقة هاجدورن (جمع-طرح) أزمنة التأخير من نتائج تحليل الإنكسار من كلا نقطة إنفجار وعكسها، وعندئذ يمكن تحديد سرعة وعمق الكاسر تحت أى كاشف. من المعادلات الآتية وشكل (2-50) يمكن تحديد زمن التجميع T^+ ومن التأخير T^-.

وبهذا يمكن تحديد العمق عن طريق السرعة (كم/ث) والزمن بالمللى ثانية فيكون العمق بالمتر. ويكون دقة نسبة العمق فى هذه الحالة حوالى 10% ويمكن حساب T^+, T^- كالآتى"

$$t_{AG} = X/V_2 + \delta t_g + \delta t_S \qquad (2\text{-}38)$$

$$t_{BG} = (L-X)/V_2 + \delta t_g + \delta t_S \qquad (2\text{-}39)$$

$$t_{AB} = L/V_2 + \delta t_a + \delta t_b \qquad (2\text{-}40)$$

ويعطى مجموعة هاجدورن T^+ كالآتى:

$$T^+ = t_{AG} + t_{BG} ñ t_{AB} = 2\ \delta t_g$$

$$= 2\ Zg\ (\cos \theta_c)/V_1 \qquad (2\text{-}41)$$

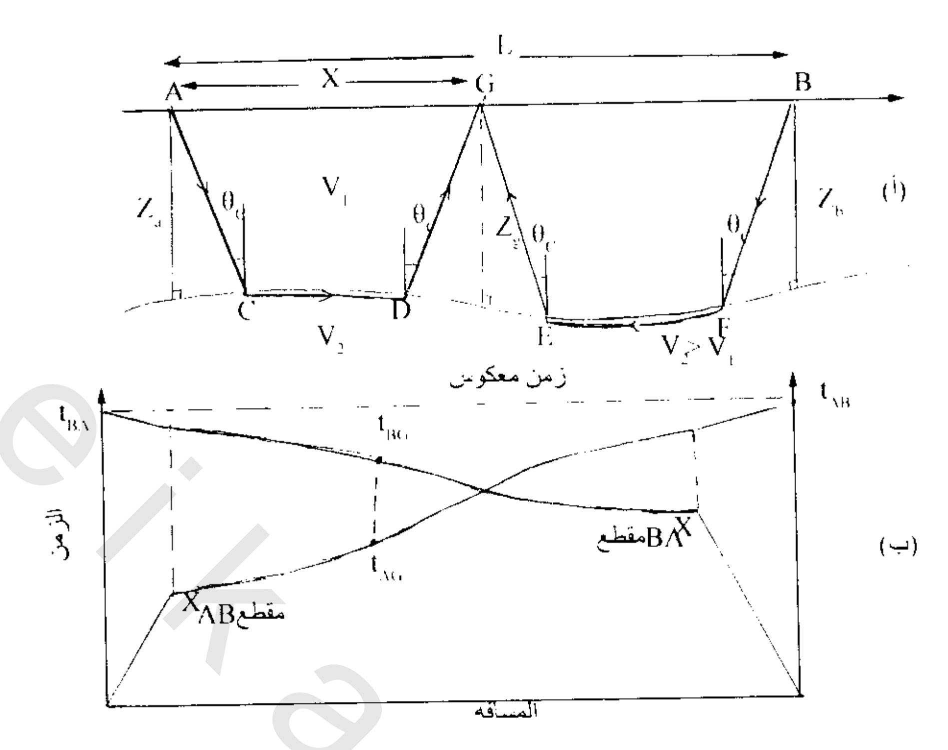
$\therefore$ Zg (العمق عند الكاشف) = $T^+/V_1/2 \cos \theta_c$

$$= (T^+)V_1V_2/2(V_2^2-V_1^2)^{1/2} \qquad (2\text{-}42)$$

ويكون طرح هاجدورن T^- كالآتى:

$$T^- = t_{AG} = t_{AB} - t_{GB}$$

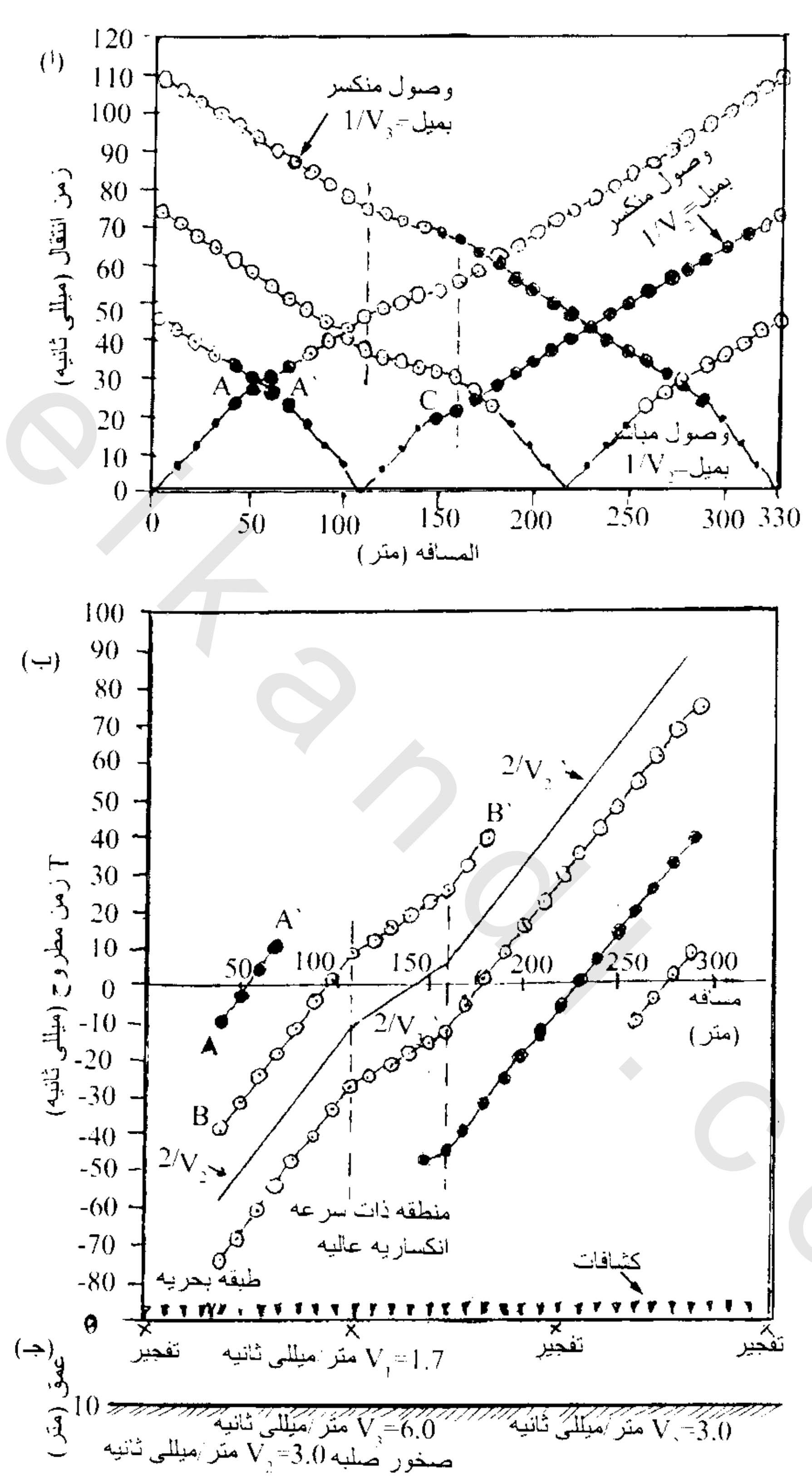
$$= (2X-L)V_2 + \delta t_a - \delta t_b \qquad (2\text{-}43)$$



شكل (2-50): أ) أشعة هندسى لتفجير وعكسة عبر كاسر لسطح غير منتظم طوبغرافية، ب) رسم خطى لعلاقة الزمن ـ المسافة. القطع بين المسافات المتصلة بالتقاطعات وضحت بواسطة خطوط ثقيلة مثل هذه القطع التى تستخدم فى طريقة تحليل هجدورن (جمع-طرح)

ويمثل شكل (2-51) طريقة (جمع-طرح) هاجدورن حيث تستخدم فى هذه الطريقة آلات الحاسب الحديثة وبرامج سوفت وير (software). تعتمد هذه الطريقة على تبادل نقطة الإنفجار والتسجيل، وتستخدم إزاحة الإنكسار للحصول على تركيب واضح للكاسر ومعلومات عن أى تغير محلى جانبى بداخله. وتستخدم إزاحة الإنكسار إزاحة المسافة التى تفصل أفقيا النقطة الحرجة على الكاسر حيث تنكسر الأشعة وتظهر على السطح.

ويشير (سيزوجرين Sjoren 1984) على أنه ربما لاتحدد إزاحة المسافة بالضبط الطبقات الرفيقة التى لها سرعة سيزمية منخفضة. وربما تكون هذه الطبقات هى هدف المسح الإنكسارى، لذلك من المهم أن تكون طريقة التفسير ملائمة لحل مثل هذا الغرض.



شكل (2-51): أ) رسم مركب لزمن انتقال-مسافة، ب) رسم طرح هاجدورن، ج) عمق محسوب للكاسر جاردنر Gardener 1992

1.2.9.1.4.4.2 طريقة التبادل العام General Reciprocal Method:

أشار بالمر Palmer 1991 إلى أن إختيار إزاحة المسافة لتحديد سطح الإنكسار لاتكون هامة بنفس الأهمية التى تعطى أفضل معلومة عن سرعة الإنكسار. تبعا لذلك فإن طريقة التبادل العام General Reciprocal Method (GRM) يمكن استخدامها بنجاح لتحديد سرعة الطبقات الرفيعة ولكى تزيد ضبط طريقة GRM، افترض زانزى Zanzi 1990 الأخذ فى الإعتبار بالتصحيحات الغير خطية فى حالة الكاسر الغير منتظم.

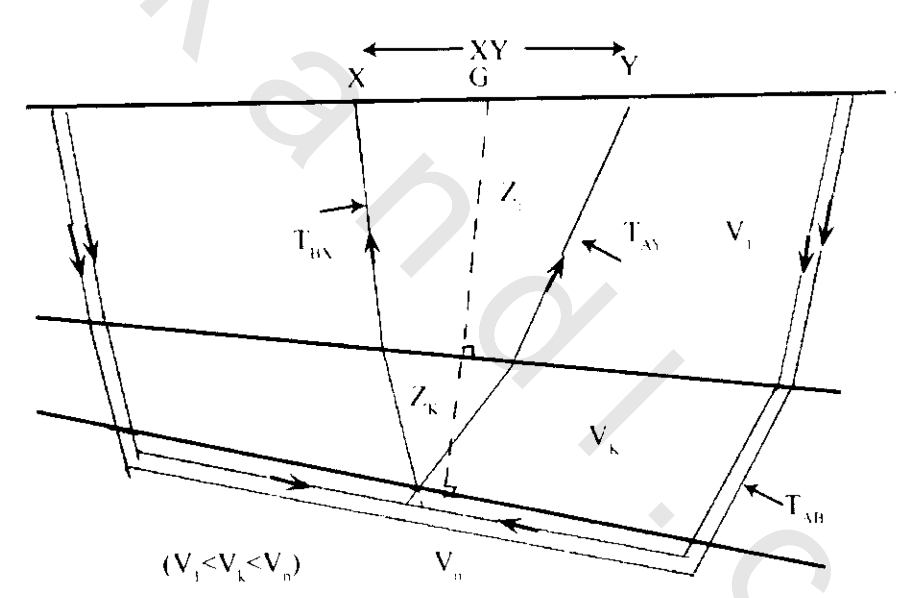
شكل (2-52) يوضح معاملات هذه الطريقة والمعاملات الآتية تشير لاستنتاج هذه المعاملات. معادلة تحليل سرعة الكاسر t_V.

$$t_V = (T_{AY}\ \tilde{n}\ T_{BX} + T_{AB})/2$$

حيث

$$AY = AG + XY/2 \quad \&$$

$$BX = AB\ \tilde{n}\ AG + XY/2$$



شكل (2-52): موجز شكل تخطيطى لمعاملات تستخدم فى طريقة التبادل العام General Reciprocal Method (GRM)

فى العلاقة بين T_V والمسافة X يكون الميل $1/V_n$ حيث V_n السرعة السيزمية فى الكاسر (عند طبقة n).

وتعطى معادلة الزمن - المسافة كالآتى:

$$t_G = [T_{AY}\ \tilde{n}\ T_{GX} - (T_{AB} + XY/V_n)]/2 \qquad (2\text{-}44)$$

وتكون العلاقة بين الزمن-المسافة بالنسبة لنقطة G لها علاقة بالأسماك (Z_{JG}) للطبقات الفوقية.

$$\therefore t_G = \sum_{j=1}^{n-1} Z_{JG}\left(V_n^2 - V_j^2\right)^{1/2} / V_n V_j \qquad (2\text{-}45)$$

حيث Z_{jG} السمك العمودى تحت V_j & G سرعة سمك J^{th}.

أفضل مسافة لـ XY لها علاقة بالسمك Z_{jG} والسرعة V_n, V_j بواسطة

$$XY_{opt} = 2\sum_{j=1}^{n-1} Z_{jG} \tan\theta_{jn} \qquad (2\text{-}46)$$

حيث

$$\sin\theta_{jn} = V_j/V_n$$

تعطى أفضل مسافة XY_{opt} معدل متوسط سرعة (`V) لجميع الطبقات فوق الكاسر (n طبقة)

$$\therefore V` = [V_n^2 \times Y_{opt}/(XY_{opt} + 2\, t_G V_n)]^{1/2} \qquad (2\text{-}47)$$

عند أفضل قيمة لـ XY لكلا من الأشعة المتقدمة والمعكوسة، يفترض أن لها كاسر دقيق عند أو قريب جدا من نفس النقطة على الكاسر. أفضل قيمة لـ XY فى تحليل السرعة المحددة من العلاقة بين الزمن والعمق تكون تقريبا كخط مستقيم، عامة فإن أفضل قيمة لـ XY تكون متساوية لكلا من تحليل السرعة والعلاقة بين الزمن-العمق.

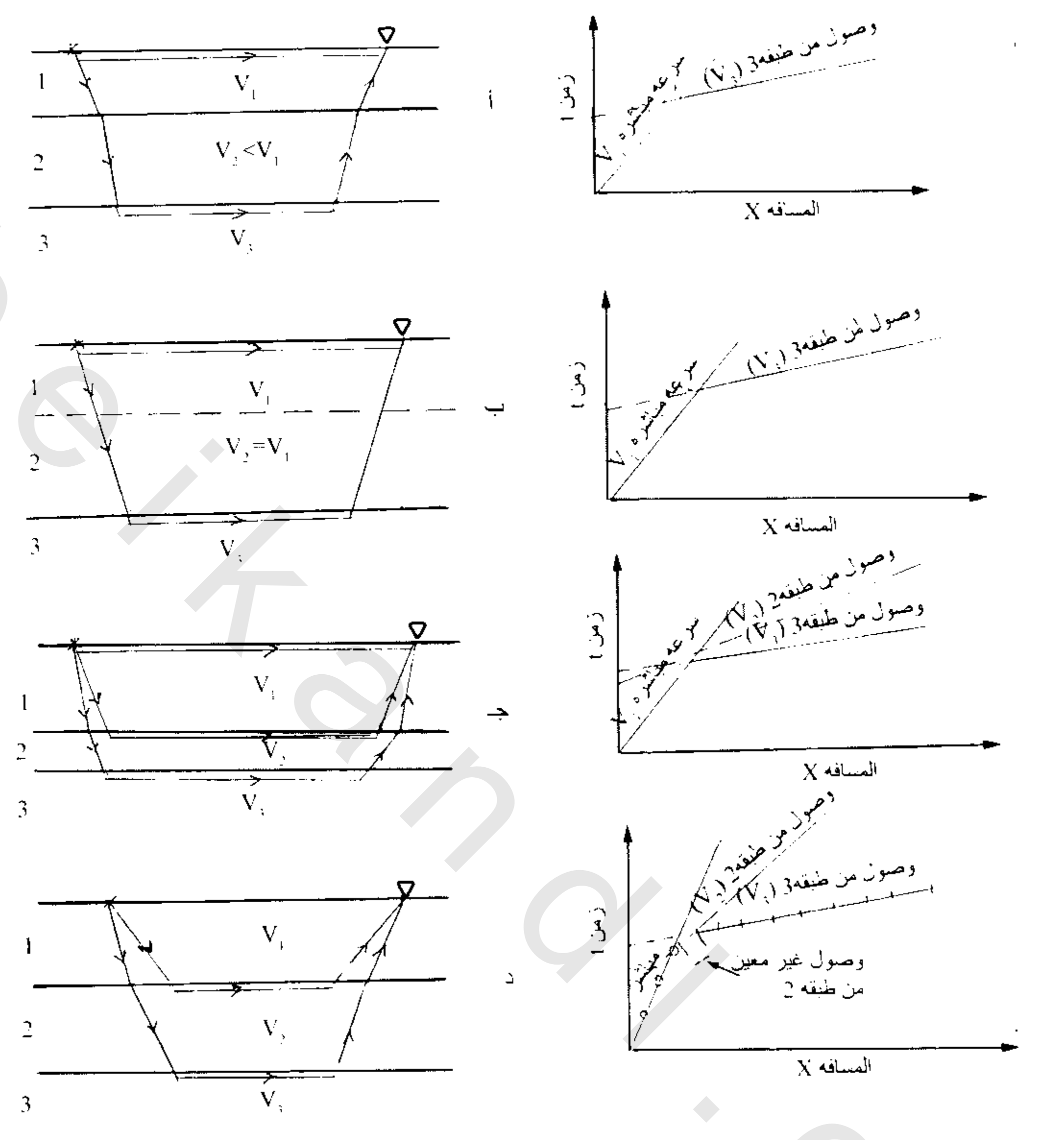
بتحديد قيم من سرعة الإنكسار من معادلة تحليل السرعة (t_V)، وكذلك تحديد أفضل قيمة لـ XY، عندئذ يمكن استخدام معادلة XY_{opt} لحساب العمق العمودى لكاسر أسفل مكان كل كاشف. وربما تكون هذه القيم محل هندسى لأعماق مركز على مكان معطى للكاشف، وعندئذ، يكون القوس المرسوم عند مكان الكاشف بنصف قطر يكافئ العمق المحسوب، ويعين السطح المنكسر بواسطة رسم المماس للأقواس المنشأة. ولذلك فإن هندسة الكاسر تزاح للمكان المضبوط فى الفراغ (لانكستون Lankston 1990).

2.2.9.1.4.4.2 مشكلة الطبقة المختفية Hidden-Layer Problem:

تحدث الطبقة المختفية أو الطبقة المستورة عندما لاتكتشف بواسطة الإنكسار السيزميى، ويوجد أربعة أسباب لهذا:

ا- السرعة المنعكسة	ب- نقص تباين السرعة
جـ- وجود طبقة رفيعة	د- مسافات الكشافات غير ملائمة

ويوضح شكل (2-53) هذه الحالات الأربعة. ففى الحالة الأولى يمكن عدم اكتشاف الطبقة ذات السرعة الأقل من سرعة الطبقة التى فوقها. وفى الحالة الثانية والتى يوجد فيها نقص فى تباين السرعة أى أن $V_2 \approx V_1$ فمن الصعب تحديد وصول بداية الموجه للطبقة ذات السرعة V_2. وفى الحالة الثالثة حيث تزيد السرعة بزيادة العمق ولكن الطبقة ذات السرعة V_2 رفيعة جدا وأقل من الطول الموجى للموجه الساقطة، فى هذه الحالة ستختفى الطبقة من التسجيل الممثل للعلاقة بين الزمن والمسافة. وأيضا فى حالة وضع الكشافات بمسافات بعيدة فإن جزء من العلاقة بين الزمن والمسافة لاتسجل على الرسم.



شكل (2-53): وصف مشاكل لطبقة مختفية بسبب: أ) سرعة معكوسة ($V_2<V_1$)، ب) نقص تباين السرعة ($V_2=V_1$)، ج) طبقة رفيعة (طبقة 2) محصورة بين طبقة 1 ,3، د) المسافة بين الكشافات أكبر جدا من الطبقة 2

3.2.9.1.4.4.2 تأثير تغير السرعة المستمر Effect of Continuous Velocity Change:

يفترض الآن أن كل طبقة لها سرعة متساوية فى الإتجاه الأفقى والرأسى. ولكن فى الحقيقة يوجد بعض المواد تجعل تساوى السرعة غير ملاحظ كتداخلات الطفله بالحجر الرملى أو وجود بعض أجسام الصخور النارية فى الصخور الرسوبية وخلافه. فى هذه الحالة يلاحظ تغير تدريجى للسرعة مع العمق (كنج وجارفس King and Jarvis 1992) وعندئذ لايوجد نقط تقاطع واضحة على شكل علاقة الزمن-المسافة. بدلا من ذلك سيكون الشكل منحنى والتغير بما يسمى بالطبقة الأخرى يكون تدريجيا مما يجعل الطرق المستخدمة للتحليل غير ملائمة.

10.1.4.4.2 تطبيقات للطريقة السيزمية الإنكسارية :Application of Seismic Refraction Method

1.10.1.4.4.2 تحديد إطار عام لموقع مقترح لتصريف نفايات

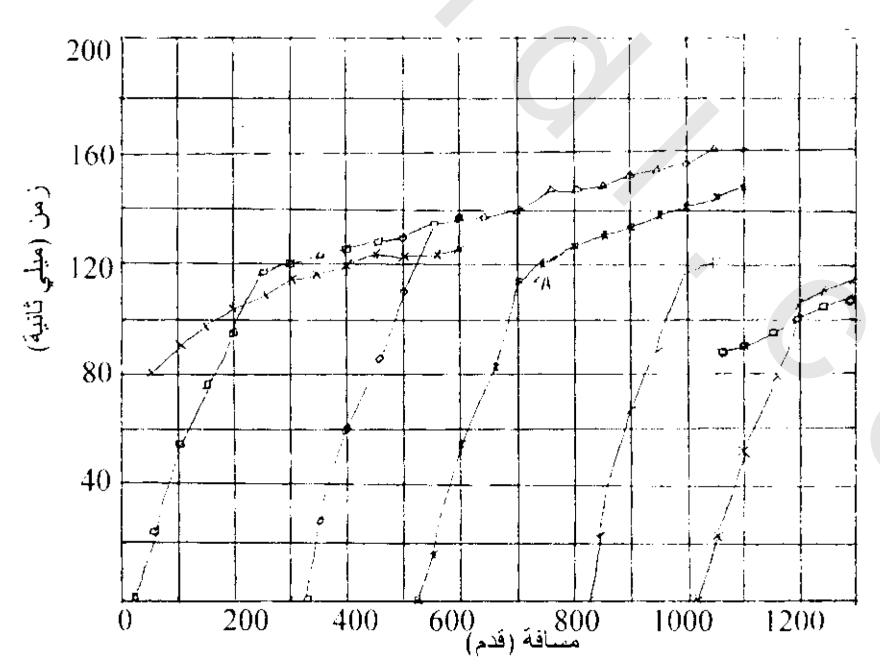
Determination for a Proposed Waste Disposal Site:

إستعرض لانكستون Lankston 1990 مثال لذلك بعمل دراسة سيزمية على الموقع المختار حيث يتميز الموقع بوجود قاعدة صخرية من البازلت يعلوها رسوبيان نهرية ورسوبيان رياحية مكونة كثبان رملية بارتفاع من 1-2 متر. وقد إستخدمت مطرقة ثقيلة لعمل الموجات السيزمية وشمل المسح الإنكسارى السيزمى تفجير طويل وقصير بالإضافة لنقطة تفجير متوسطة، بحيث يتراكب كل تتابع إنتشارى مع السابق له بواسطة كشافين.

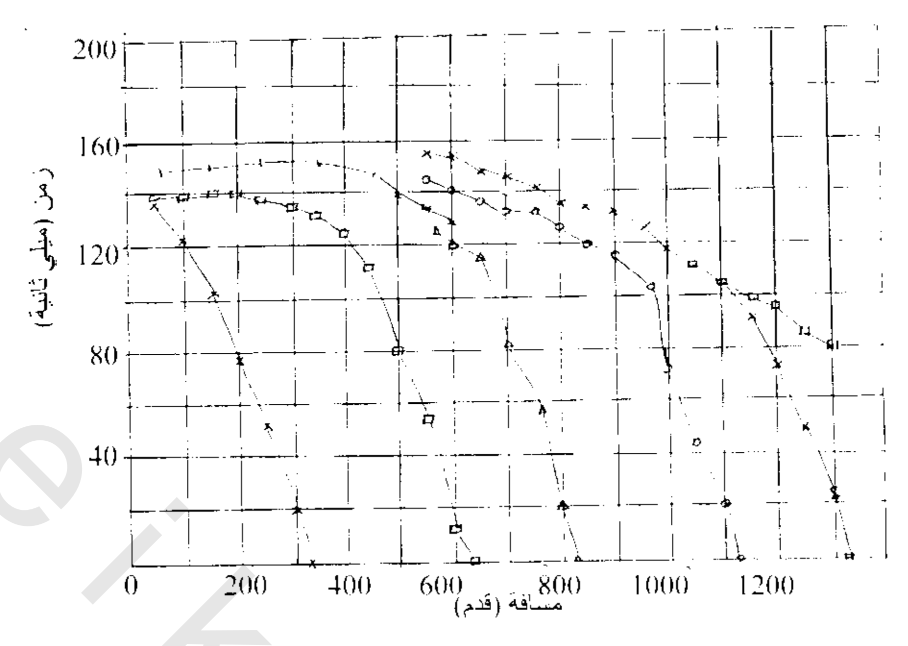
يوضح شكل (2-54) إتجاه تقدم للعلاقات بين الزمن والمسافة على طول خط مسمى واحد. وتشير النتائج لطبقتين ذات سرعات عالية متوازية، ويتوقع عمق الطبقة ما بين 700-800 قدم على طول الخط.

ويمثل شكل (2-55) الإتجاه العكسى للمسح السابق وربما لاتدل نتائج هذا الشكل على حل المشكلة عبر وجود الطبقة المتوسطة – أو عن ظاهرة الإمتداد الذى يحدث جانبيا.

وباستخدام طريقة الطيف للنتائج المتقدمة (شكل 2-56) من نقط التفجير عند 325 قدم وعكس النتائج عند 1125 قدم بين كل نقطة ملاحظة أو مطوفه على علاقة شكل الزمن-المسافة وذلك لتحسين قيمة تحليل أفضل لـ XY باستخدام طريقة التبادل العامة، ويوضح شكل (2-57) نتائج تحليل السرعة.

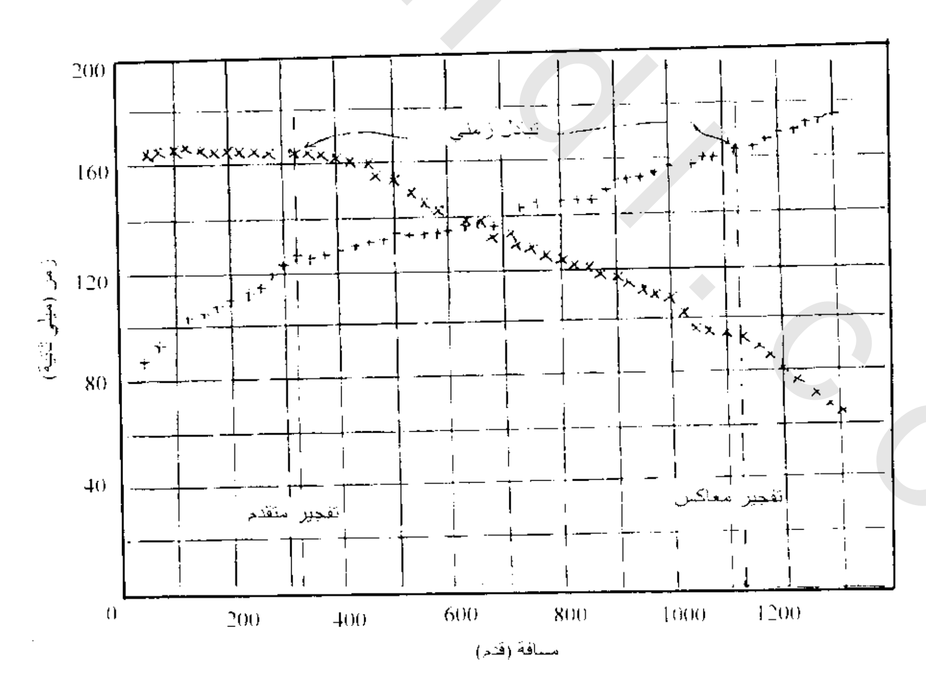


شكل (2-54): رسم تخطيطى لعلاقة فترات الزمن-المسافات لتفجيرات متقدمة للأمام. الإنكسارات الأولى للتفجيرات البعيدة (كقطاعات) تصل أولا لأغلب الإنتشار الأيسر أكثر من التفجيرات القريبة (مربعات) لهذا الإنتشار. وهذا يحدث عندما تقل المسافة بين نقط التفجير والإنكسارات بدلالة القرب والبعد من نقط التفجير



شكل (2-55): رسم لعلاقة فترات الزمن-المسافات فى إتجاه عكسى لنقط التفجير

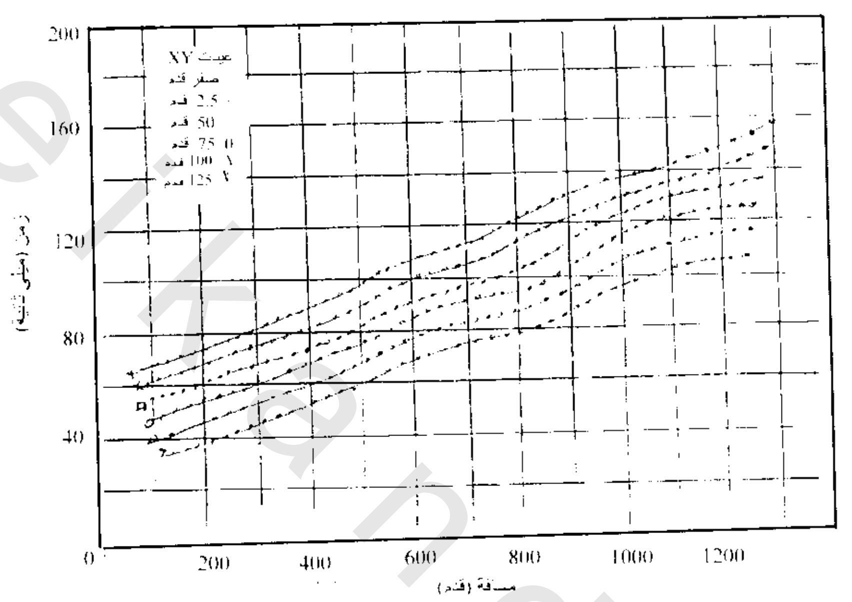
وبتطبيق طريقة بالمر Palmer 1980 (معيار التفسير الأدنى) اعتبر أنه عند XY=0هى أحسن قيمة لتحديد لسرعة الإنكسار. وأيضا بتطبيق طريقة بالمر (معيار التفسير الأعلى) فى شكل (2-58) أختير أيضا XY = 0 فى تكوين علاقة الزمن – العمق، حيث تتطلب سرعة الإنكسار ثلاث قيم فسرت على طول الكاسر كما فى شكل (2-59)،



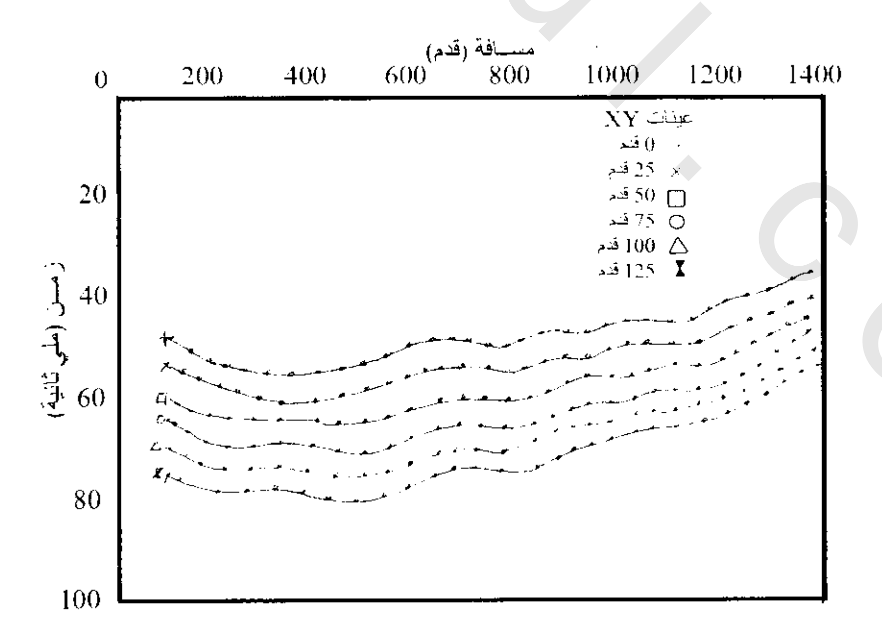
شكل (2-56): تقدم وانعكاس فترة الزمن-المسافة بعد تداخل خط الطيف وامتداد وصول جديد عند أماكن منتصفه بين الوصول الملاحظ. ويدل على تبادل الزمن المفسر من تقدم وعكس اتجاه التجارب

عندما تكون المسافة بين الكشافات (50 قدم ≈ 15 متر). فإن قياس أى تغير لأفضل XY على قواعد النتائج المكتسبة يكون غير مستحيل. وعندما تكون أسماك الطبقات وسرعتها معروفة فإن أفضل قيمة لـ XY يمكن إكتشافها بواسطة العمل فى الإتجاهات الخلفية فى هذا المثال من تفسير السرعات والأعماق وتكون أفضل قيمة متوقعة تساوى حوالى 6 متر.

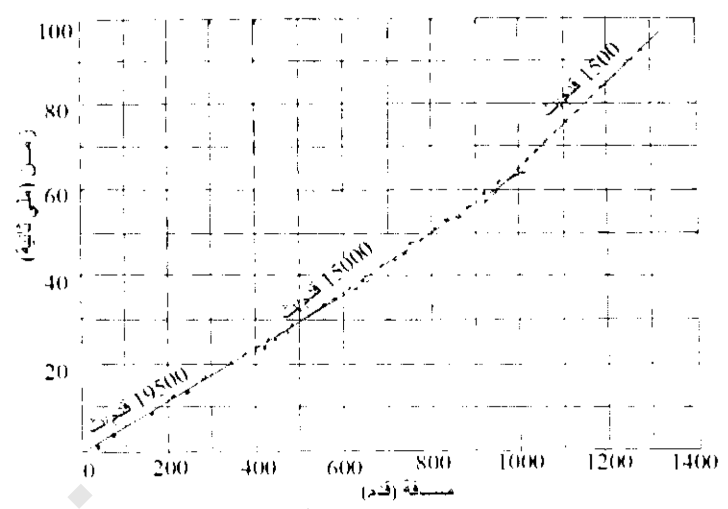
ويمكن تحديد العمق السطحى الكاسر تحت كل مكان كاشف خلال المسح السيزمى، وذلك بتحديد سرعة الإنكسار ومن الإنتشار الصغير للسرعة القريبة من سطح الطبقات. وتكون سرعة أعلى الطبقة المحددة هى 305 م/ث والسمك 3.1 متر على طول خط المسح. وأما الطبقة الثانية فتكون سرعتها 550 م/ث.



شكل (2-57): منحنيات تحليل سرعة لمسافات XY من صفر إلى 48 م (125 قدم)



شكل (2-58): منحنيات الزمن-العمق لمسافات Xy من 0-48 متر (125 قدم). سرعات الكاسر المستخدم لعمل هذه المنحنيات أشير إليها فى شكل (2-12) (لانكستون Lankston 1990)

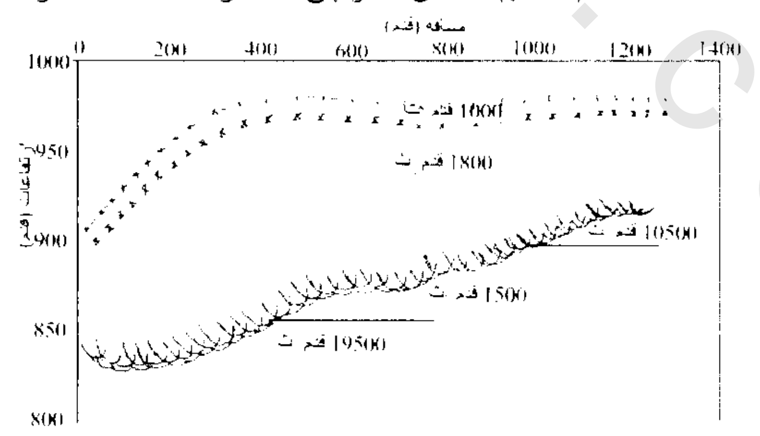


شكل (2-59): منحنى تحليل السرعة لحالة XY = 0 . فسر الكاسر على أن لـه سرعتين متغيرتين جانبيا (لانكستون Lankston 1990)

ويمكن إيجاد العمق المحسوب للكاسر تحت كاشف ملائم كقوس نصف قطره يساوى حساب العمق عند هذه النقطة (شكل 2-60). وعندئذ يستدل على السطح الحقيقى للكاسر بواسطة غلاف الممسات لقوس الدوائر. وايضا يشير (شكل 2-60) أعلى ثلاث قيم لسرعات الإنكسار، وأن صخر الأساس هو البازلت وتركيبه العام مسطح. لذلك فإن التفسير المتوقع فى (شكل 2-60) يكون ملائم بثلاث سرعات انكسارية داخلية تبعا للطبقات فى داخل البازلت. فى هذا المثال قرر لانكستون Lankston 1990 عند نقط تقاطع الخطوط، فإن تفسير عمق الكاسر يكون متفق مع الواقع خلال نسبة 5%. وأوضح أيضا أن النموذج النهائى الناتج يعكس بملائمة ومقبولية التركيب الجيولوجى.

2.10.1.4.4.2 تحديد أنابيب البالوعات المدفونة Location of a Buried Deline:

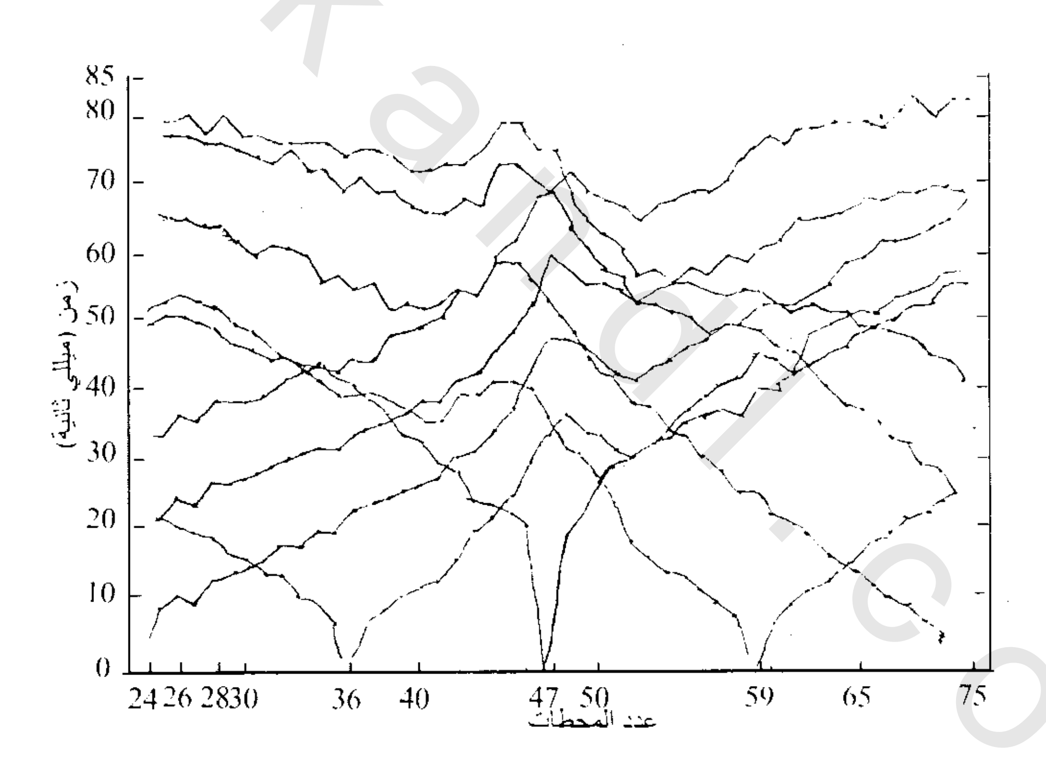
بواسطة مسح سيزمى إنكسارى وصف بالمر Palmer 1991 هذه الحالة عبر أنابيب البالوعات المتدهور فى رسوبيان سيليوريان Silurian المتحولة بإستراليا. وبعكس المثال السابق فإن المسافة بين الكشافات 2.5 متر مع مسافة نقطة التفجير مقدارها 30 متر. يوضح شكل (2-61) علاقة المسافة-الزمن، وشكل (2-62) تحليل سرعة الإنكسار للتفجيرات عند محطات 12 ,83 لقيم XY من صفر إلى 15 متر لمسفات 2.5 متر.



شكل (2-60): قطاع إزاحة نهائية، حيث يحتوى سطح الإنكسار على ممسات لأقواس ملائمة. وتظهر الأقواس الدائرة رياضيا بيضاوية لوجود مبالغة لمقياس الإرتفاع. ويشار لسطح الأرض بواسطة منحنى متصل. وتمثل التقاطعات الصغيرة الحد الفاصل بين سرعة 1000 قدم/ث والتى أسفلها 1800 قدم/ث. ومكان التغير الأفقى للسرعة من الشكل السابق. يشاهد ويفسر كأنه يسبب طبقة البازلت (لانكستون Lankston 1990)

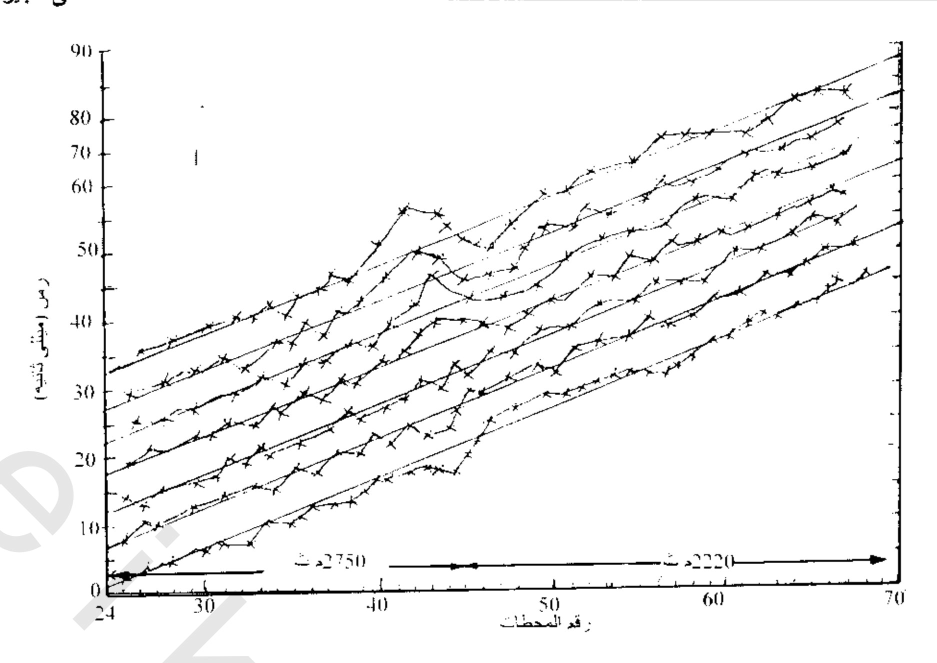
تشير السرعة المحللة للكاسر إلى 2750 م/ث بين المحطتين 24 ,46 و 2220 م/ث بين المحطتين 46 ,71. وحدد بالمر Palmer 1991 أن أفضل قيمة لـ XY هى 5 متر. ويوضح شكل (2-63) علاقة الزمن-العمق عبر نفس الإنتشار وقيمة XY. من هذه الأشكال يتضح أن أفضل قيمة لـ XY هى 5 متر، وأعمق كاسر بين المحطتين 40 ,52. وبإستخدام قيمة 5 متر لـ XY فى معادلتها، فإن زمن-العمق يكون 15 متر وسرعة الكاسر 1000متر/ث بمعدل سرعة سيزمية 600 متر/ث فوق الكاسر. بإستخدام هذه السرعات، أنشأ قطاع العمق شكل (2-63) حيث تمثل الأقواس فى هذا الشكل أماكن سطح الإنكسار تحت المحطات 37 ,46 وجميعها تتقاطع فى تجمع تحت محطة 39، ونفس النتيجة لتجمع للأقواس من المحطات 47 ,54 تحت المحطة 53. جميع المحطات تدل على أن جميع الوصول الزمنى مصاحب لتدهور أنابيب البالوعات، وعند هذه الأماكن تكون الإنكسارات من الحواف.

السطح الكاسر الواضح فى شكل (2-64) أقل كاسر مكافئ أكثر من الصورة (2-64) الحقيقية لأنابيب البالوعات. وبحفر بئر بالقرب من المحطة 47 حيث قطع الحفر غالبا 50 متر من حجر رملى سلشيس وفجوات. واستنتج من هذا الحفر أن الإمتداد الكبير الرأسى لخط الصرف

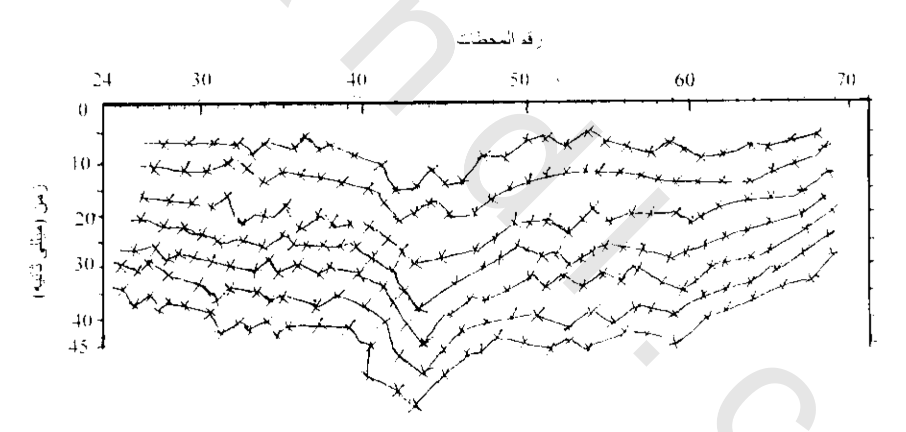


شكل (2-61): رسم لفترات الزمن-المسافة مسجلة عبر خط صرف مهدم وشرق استراليا . المسافات بين الكشافات 2.5 متر (بالمر Palmer 1991)

بالنسبة لقطر 30 متر ومستوى قطاع شبه دائرى، فإن أغلب الطاقة السيزمية تسير حول خط الصرف أكثر من أسفله، وتبعا لذلك فإن أقل كاسر مكافئ يحتمل أنه نصف كروى بقطر حوالى 30 متر.

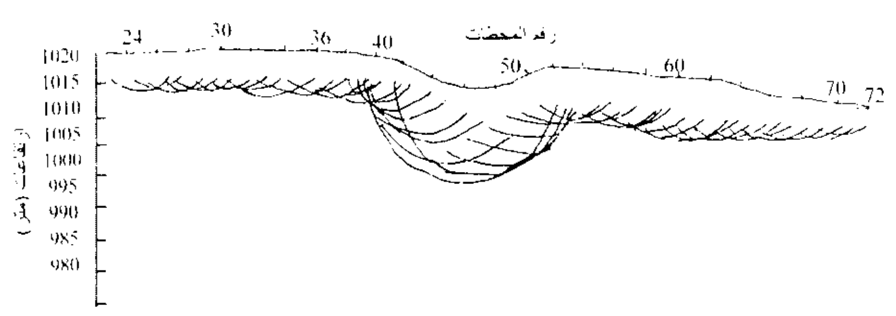


شكل (2-62): رسم يوضح حساب معادلة طريقة التبادل العامة لتحليل سرعة قيم XY من الصفر، المجموعة السفلى من النقط إلى 15 متر، المجموعة العليا من النقط، فى تقسيمات 5-2 متر. ويزاد زمن التبادل بواسطة 10 متر لكل قيمة XY لكل إزاحة (بالمر Palmer 1991)



شكل (2-63): رسم يوضح حساب معادلة طريقة التبادل العامة للزمن والعمق بقيم XY = 0. المجموعة السفلى من النقط إلى 15 متر، المجموعة العليا من النقط، فى تقسيمات 2.5 متر. وزاد زمن التبادلى بواسطة 10 متر لكل قيمة XY لكل إزاحة (بالمر Palmer 1991).

من هذا التحليل باستخدام طريقة التبادل العام GRM، يستنتج أن نطاق السرعة المنخفضة يصاحب خط صرف مهدوم. وإذا إستخدمت قيمة XY مساوية للصفر فى معادلة تحليل السرعة، يمكن الإشارة لسرعة سيزمية حوالى 750 متر/ث بين الحطتين 44, 47. وربما أن تكون هذه نفسها تحذيرات لتفسيرات شائعة. حيث يظن أن الطاقة السيزمية تنتقل بملاءمة حول خط الصرف، ويحتمل أن تقدير الحجم تحت الظاهرة لايكون بالبساطة المتوقعة.



شكل (2-64): قطاع عمق محسوب بـ XY = 5 متر ومتوسط السرعة فى الغطاء الرسوبى 600 م/ث، وحدد بذلك موقع تدهور خط أنابيب الصرف (بالمر Palmer 1991).

أيضا طريقة إزاحة عمق القطاع فى شكل (2-64) تكون مفيده فى إشارة لتجمع الأقواس والتى تدل على الحيودات. وأكثر من هذا فإن إشراك نتائج الحفر تساعد على تفسير ميكانيكية إنتشار الموجه فى مجاورة خط الصرف المهدوم. التفسيرات المشتركة التى تنتج تكون أكثر إدراكا من إستخدام المسح السيزمى أو الحفر مفردا.

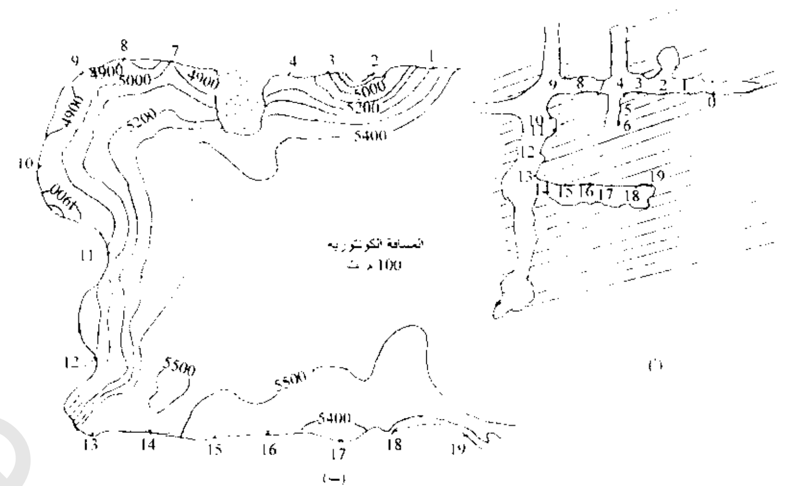
3.10.1.4.4.2 تقييم نوعية الصخر Assessment of Rock Quality:

إزداد طلب المسح الجيوفيزيائى أثناء تفسير ميكانيكية التربة والهندسة الجيولوجية لتعطى تعريفات عن نوعية الصخر والمعاملات الجيوتقنية الأخرى وصف نيو New 1985 دراسة توضيحية لنوعية تصميم تفسير هذه المسألة.

خضع جزء من برنامج بحوث تنظيم نفايات المواد النووية للمملكة المتحدة، النقل، معمل طريقة البحث لبروجرام قياس السرعة السيزمية عند كاونان Cawnnan، كورنوول Cornwall. ولإختيار الموقع تم حفر تجريبى فى كتلة جرانيتية فى إتجاه حافة الشمال الغربى لكارنمينيليز Carnmenellis، حيث يوجد كتلة كارنمينيليز الجرانيتية، وتكون كتلة كورنيوبيان Cornubian الباثوليثية جزء من كتلة كارنمينيليز الجرانيتية، حيث يسودها حبيبات البياتونيت الخشنة، ماسكوفيت، جارنت مع بللورات ظاهرة فى صخور بورفيرية لبوتاسيوم فلسبار، لهذا فإن هذه الكتلة الصخرية صلبة جدا وضعيفة التجويه، كذلك يوجد بها مجموعة فواصل تحت رأسية بإتجاه مضرب مقداره 120°، ومسافات الفواصل عادة أكبر من 1 متر، وقد وجدت هذه التكوينات والتركيبات خلال اختبار الموقع.

أخذ المسح السيزمى خلال ثلاث إتجاهات رأسية لعمق 30 متر تحت مستوى الأرض. ثبت على طول ثلاث جوانب لقطاع صخرى مربع 900 م^2 فى المنطقة 20 نقطة مرجعية. رقمت أماكن الإنبعاث والإستقبال من 0-19 شكل (2-65أ)، وثبتت الكشافات جيدا فى الصخور، وتم المسح بدقة ±0.5 سم، وكان مصدر الموجات السيزمية هى مطرقة ثقيلة.

سجلت فترات الزمن وشكل نبضة الموجه السيزمية وحللت النتائج باستخدام معالجة فورير Fourier وتمثل السرعة (V_R) المحددة لكل خلية من الشبكة المحسوبة لكتلة الصخر، ثم بعد ذلك مثلت نتائج السرعات كخرائط فى شكل (2-65ب). من الشكل يتضح أن الصخور تأثرت بحفر السطوح والتى خفضت السرعة السيزمية لأقل من 5000 م/ث بالمقارنة ببقية الصخر (تقريبا 5000 م/ث).



شكل (2-65): أ) خريطة لثلاث رءوس تحت سطحية بأرقام أماكن مصدر – مستقبل، ب) خريطة كنتورية لتمثيل السرعة (V_R م/ث) بين أماكن مرجعية (نيو New 1985).

ولاشتقاق التصنيف العددى لقيمة (c معامل نوعية الصخر)، إستخدم نظام تصنيف موقع نوعية الصخر لكل منطقة جدارية بين مرجعيات النقط ويعتمد هذا المعامل على:

1) المسافات بين الشقوق

2) حالة الشقوق (مجوف، مملوء، .... إلخ).

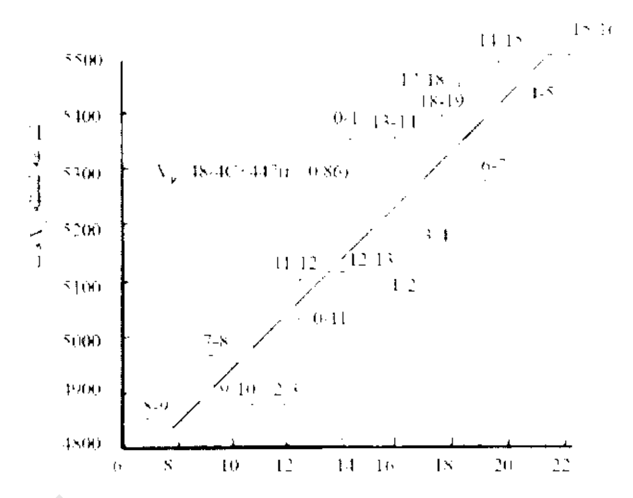
3) الحالة العامة لسلامة الصخر.

4) درجة الحفر - هدم تفجيرى مستحث.

5) كثافة ثقوب التفجير فى المنطقة (أعماق هذه الثقوب ما بين 1-3 متر).

ويمثل شكل (2-66) العلاقة بين السرعة السيزمية ونوعية الصخر (c) لكل زوج لمرجعية النقط. ومن الشكل يتضح أنه يوجد علاقة بين السرعة السيزمية ونوعية الصخر. حسب نيو New 1985، هذه العلاقة ($V_R = 447 + 48.4c$) بعامل علاقة (c)=0.86. ووجد أن أقل سرعة هى المصاحبة للمناطق المهدمة والمتجوية للصخور مع عدة شقوق كبيرة عند الإمتداد الغربى للمنطقة الممسوحة. أما جوانب الشمالى-الغربى والجنوب-الغربى للمنطقة المختبرة فقد تأثرت بتفجيرات كبيرة والحفر المنتشرة بالمقارنة بنفس المقدمة على طول الجانب الجنوبى الشرقى. وكذلك إستخدمت هذه الطريقة للدلالة على الخواص الهندسية للكتل الصخرية (جاردنير Gardener 1992).

فى عام 1958 طورت شركة كاتربلر تراكتور Caterpiller Tractor Co. إستخدام السرعة السيزمية المحددة من تجارب الإنكسار السطحية لإنتاج لوحة خاصة للكسر. وبإستخدام هذه اللوحة، إستطاع المقاولون تعين سهولة أو صعوبة الحفر للمناطق المنوط بها العمل لهم بإستخدام الأجهزة الميكانيكية لديهم، حيث تعطى اللوحة (شكل 2-67) الخطوط العامة المرشدة للاستخدام العملى. بعد ذلك قامت شركة كاتربلر 1988 بعمل لوحات أكثر دقة تتعلق بالمواد الجيولوجية والكسر تبعا لنوع الآلات. وفى عام ١٩٩٤ استعرض ماك جيرجور وآخرين MacGregor et al. على مدى واسع تعين كسر الصخر باستخدام السرعة السيزمية.



شكل (2-66): مقارنة تمثيل السرعة لتصنيف نوعية الصخر (نيو New 1989).

4.10.1.4.4.2 فحص مدافن المخلفات Landfill Investigation:

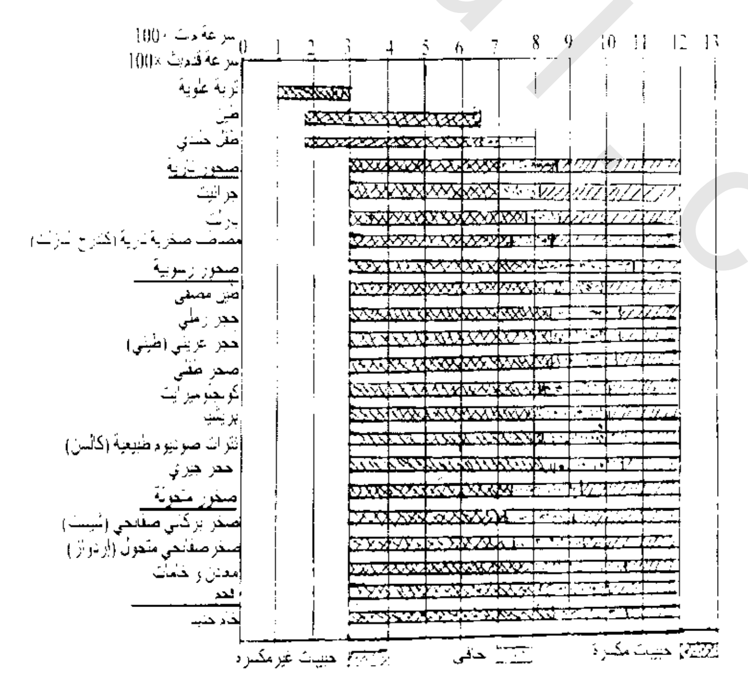
فى هذا الفحص يفضل إستخدام طريقة الإنكسار عن طريقة الإنعكاس للأسباب الآتية:

1- أغلب المدافن تكون سطحية جدا.

2- مواد المدافن كبيرة التواهن (التخفف) ولذلك يكون من الصعب وضع طاقة كبيرة فى موادها واكتشاف أى نبضات (إشارات) مميزة.

3- تكاليفها أرخص من طريقة الإنعكاس.

وقد أشار (رينولدز ومكون Reyonold and McConn 1992) أن المسح السيزمى الإنكسارى قلما يستخدم عبر المدافن المغلقة، وذلك لصعوبة وضع الطاقة، حيث أن المطرقة ليست ذى قوة كافية، وقنابل البندقية لاتستخدم حيث يوجد غاز الميثان! لذلك فإن إستخدام الطرق السيزمية للمدافن نادرا ماتستخدم كلية.

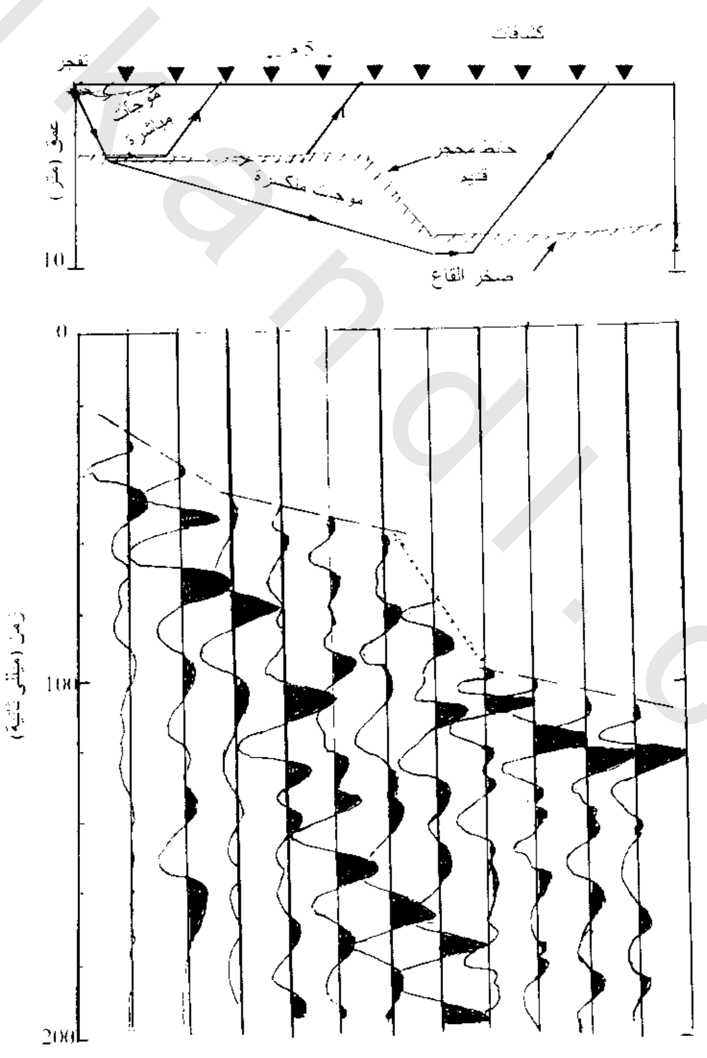


شكل (2-67): لوحة نموذجية توضح العلاقة بين الموجه الغربية وإنجاز الكسر (شركة كاتربلرتراكتور).

وللمواقع المختارة والتى تسمح حالاتها باستخدام السيزمية الإنكسارية وذلك لتحديد: 1) العمق، 2) الموجه الأولية والطبقات التحتية، 3) أماكن جوانب المحاجر القديمة التى ربما تحدد حواف المدافن، 4) حالة الغطاء الطينى من حيث سمكه.

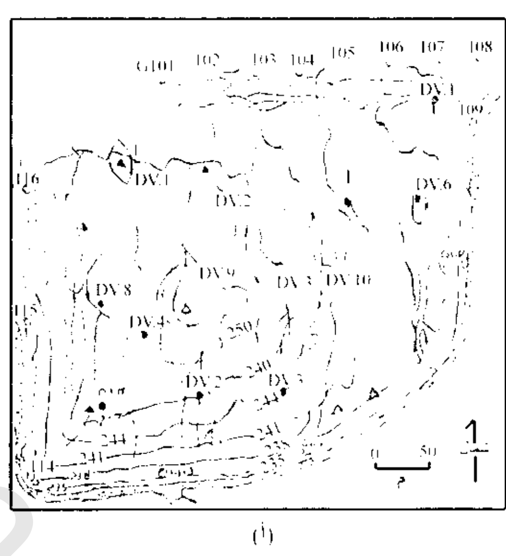
يمثل شكل (2-68) مثال لتسجيل إنكسار سيزمى بإزاحة الوصول الأول الناتج من الدرجة (السلبية) الرأسية المصاحبة لها خلال المحجر القديم المملوء. وقد وضح كاربنتر وأخرين Carpenter et al. 1991) أثناء إستخدامهم لكلا من المسح الإنكسارى السيزمى والمقاومة الكهربية لإختيار تجمع الغطاء الطينى عبر المدافن البلدية لشمال مالرد Mallard North بالقرب من شيكاغو بالولايات المتحدة الأمريكية، أن الخريطة التفصيلية لسرعة الموجه الأولية P_W، يمكن إستخدامها لتحديد المناطق التى بها غطاء طينى متشقق (تعطى سرعة أولية منخفضة) بالمقارنة مع غطاء الطين المتماسك (تعطى سرعة أوليه عالية).

نفس التغير فى المقاومة الكهربية مع السمت (azimuth) حول نقطة المركز تدل على إتجاه التشققات خلال الغطاء الطينى. ويشاهد هذا المسح على خريطة الموقع شكل (2-69).

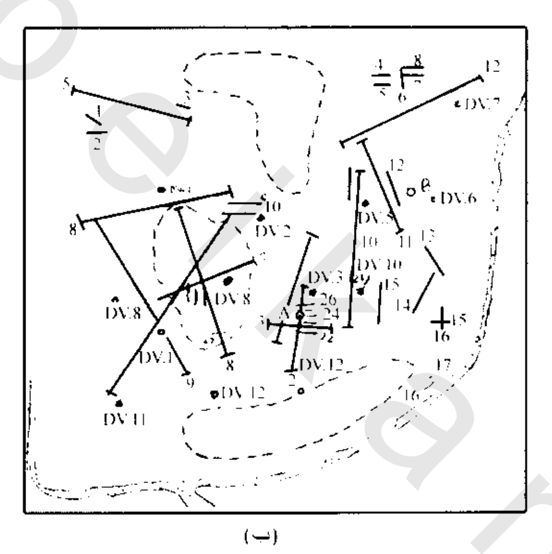


شكل (2-68): قطاع سيزمى عبر واجه محجر مدفون خلال موقع مدفن مخلفات مملوء مسبقا بالمارل (طين جيرى) وذلك تبعا لتسجيل إنكسارى، يدل على خطوط المكاسر الأولى بخطوط مقطعة ومنقطة (رينولد ومكان (Reynolds and MacLann.

وقد وجد كاربنتر ومعاونيه أن سرعة الموجه الأولية على طول الخطوط الموازية أو العمودية على التشققات من 370±20 م/ث، 365±10 م/ث بالتتالى، بينما تصل قيمتها إلى 740±140 م/ث عبر الغطاء الطينى الغير متشقق. أيضا وضحوا صعوبة الحصول على وصول إنكسارى فى بعض المناطق بسبب السرعة الأولية تحت الفضلات والنفايات أقل من الطين التى فوقها. لذلك وجدوا أنه عندما يكون الغطاء الطينى من 1.5-2 متر، كما فى هذه الحالة، فإن تصورهم لمسح الكهربى التحت سطحى يكون طريقة سريعة وملائمة لقياس سمك عدم المتداخلات.



(أ)



(ب)

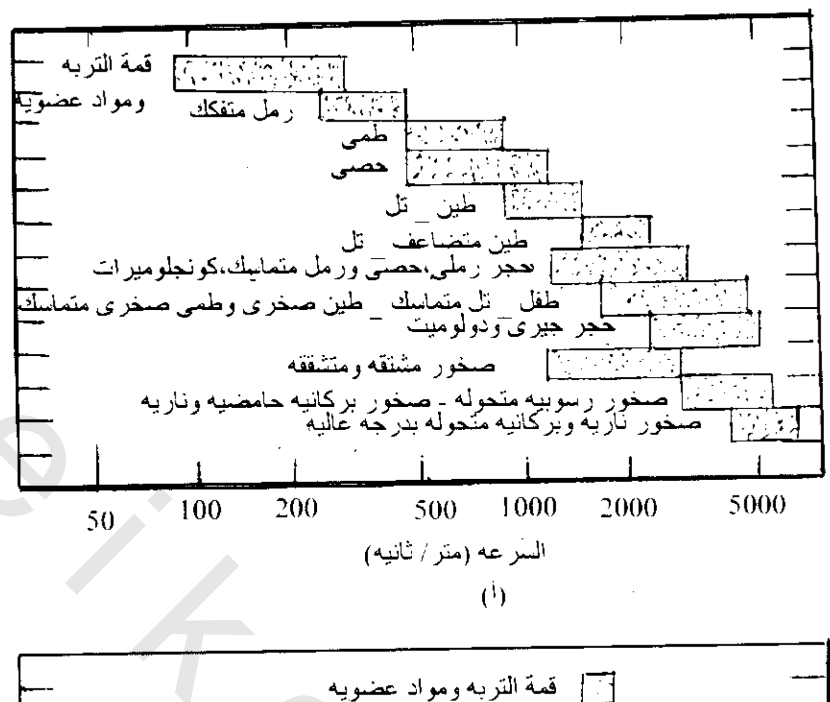
شكل (2-69): خريطة مدفن شمال مالارد North Mallard، أ) الطبوغرافية التشققات الكبيرة، عروق الغاز الضحلة والعميقة وآبار المراقبة، ب) خطوط المقاومة الكهربية، وخطوط الإنكسار السيزمى، وسمت صفوف المقاومة الكهربية (B & A) (كاربنتر وآخرين Carpenter et al. 1991)

5.10.1.4.4.2 إستخدام السيزمية الإنكسارية للبحث عن المياه الجوفية

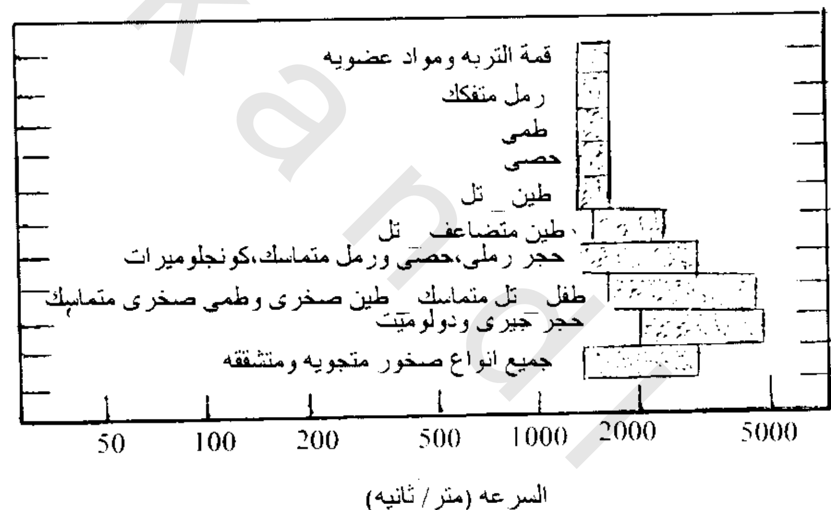
Using Seismic Refraction Method for Underground Water Exploration:

يوضح شكل (2-70) خواص السرعات السيزمية لمواد جيولوجية مختلفة، وهذه الخواص يمكن إستخدامها لتعريف طبيعة الرسوبيات الغير متماسكة أو صخور الأساس. وبإستخدام السرعة السيزمية لمواد الرسوبيات الخشنة يمكن تميز الطبقات المشبعة والغير مشبعة بالماء، وكذلك يمكن تخريط مستوى الماء الجوفى water table بدقة تبلغ غالبا 10% عندما تكون الحالات الجيولوجية متشابهه نسبيا.

وحيث أن التغير فى السرعة السيزمية ترتبط بالتغير فى خواص المرونة للتكوينات الجيولوجية فإن التباين الكبير فى هذه الخواص تودى لتحديد هذه التكوينات وحدودها. وفى الصخور الرسوبية، فإن تركيب الأنسجة والتاريخ الجيولوجى لها أكثر أهمية من التركيب المعدنى لها حيث تشير المسامية للصخور الرسوبية لنقص فى سرعة الموجات السيزمية ولكن تزيد هذه السرعة عندما تحتوى هذه الصخور على الماء. وبالنسبة للتركيبات



(أ)



(ب)

شكل (2-70): السرعة السيزمية للمواد الجيولوجية: أ) مواد غير مشبعة، ب) مواد مشبعة، (الجمعية الأمريكية للإنشاءات 1972).

المتماسكة المتساوية التوزيع المسامى الصغير مثل الحجر الرملى، فإن العلاقة بين السرعة والمسامية تكون كالآتى:

$$\frac{1}{V} = \frac{\alpha}{V_L} + \frac{1-\alpha}{V_S} \qquad (2\text{-}48)$$

حيث V = السرعة المقاسة، V_L = السرعة فى السائل* المشبع للصخور، V_S = سرعة نسيج الصخر الصلب، α = مسامية الصخر.

* السرعة السيزمية فى الماء تحت حالات المياه الأرضية النموذجية تساوى تقريبا 1460 م/ث.

شكل (2-71) يوضح مسار الموجه الإنكسارية. فمثلا، فيفرض تجانس مواد غير متماسكة محتوية على الماء فعندما تصل الموجه لسطح الماء فإنها تسير على طول الحد الفاصل. وفى أثناء مسارها تنتشر سلسلة من الموجات عائدة إلى الطبقة الغير متماسكة (الغير مشبعة). أماكن تقدم الموجه مساوى لفترات قليلة من المللى ثانية موضحة هذا الإنكسار كما فى الشكل (2-72أ). عند أى مكان على السطح فإن الموجه الأولى ستصل إما مباشرة من نقطة التفجير أو من الأشعة المنكسرة. وبقياس فترات الزمن للوصول الأول عند مسافات مختلفة من نقطة التفجير ترسم العلاقة بين الزمن والمسافة شكل (72ب). ويعطى مقلوب الميل فى هذا الشكل قيمة للسرعة فوق مستوى الماء مقدارها 500 م/ث، 2000 م/ث للسرعة أسفلها. وباعتبار الطبقة أفقيه فإن العمق لمستوى الماء (Z) يمكن حسابه من السرعات V_2, V_1 والمسافات المقطوعة فى الشكل (2-71ب) طبقا للمعادلة

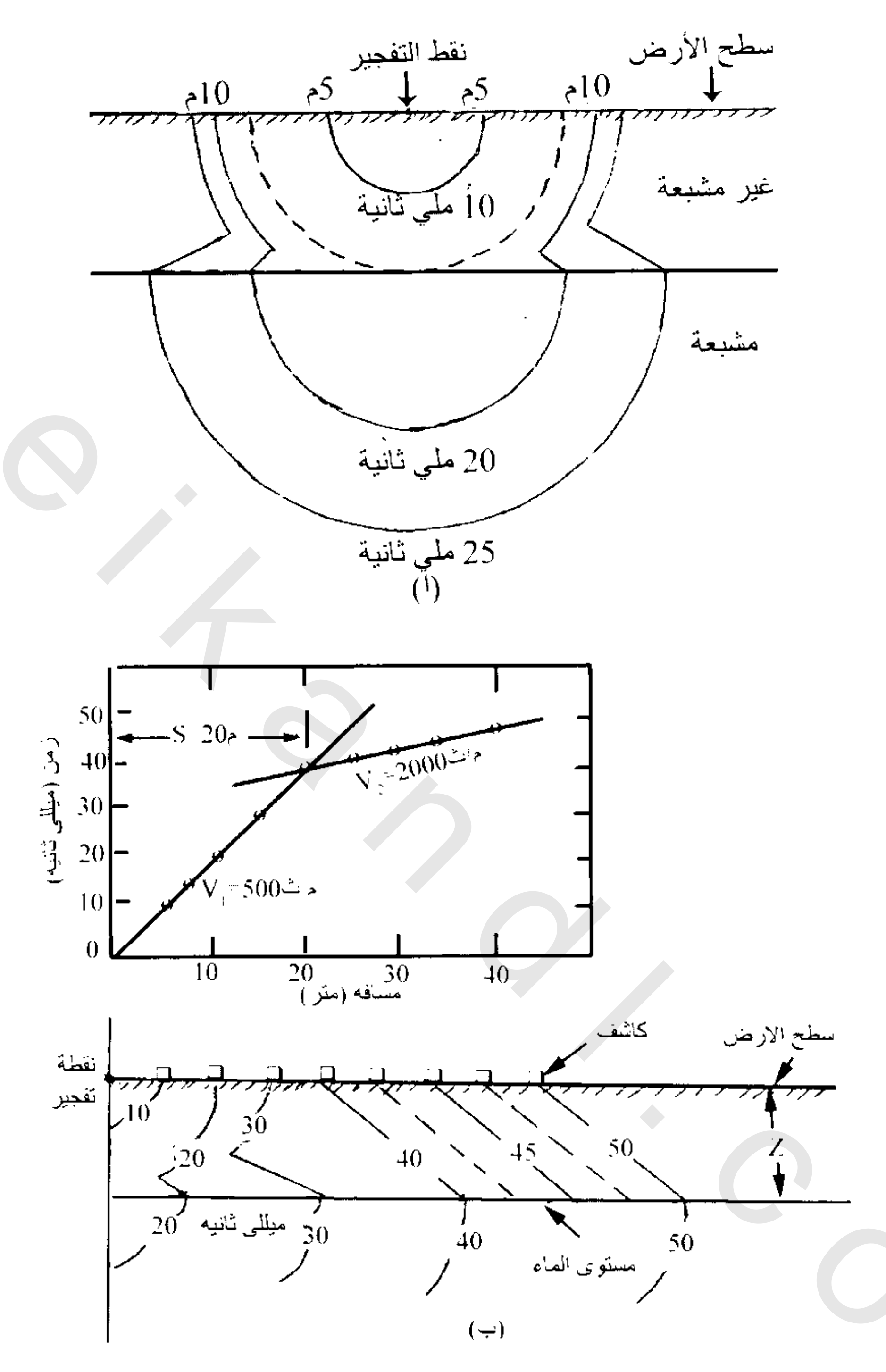
$$Z = \frac{S}{2}\frac{\sqrt{V_2 - V_1}}{V_2 + V_1} \qquad (2\text{-}49)$$

فى هذا المثال تكون قيمة Z = 8 متر. ويمكن حساب عدة طبقات وميل التكوينات، الفوالق، والتغير فى شكل التداخلات بالطرق المفسرة سابقا أو باستخدام نومجرام السيزمية الإنكسارية الذى عمل بواسطة ميداف Meidav 1968.

وحيث أن مستوى الماء الجوفى يعتبر تقريبا كسطح فإنه يمكن تجنب كثير من المشاكل المفترضة بواسطة عدم إنتظام شكل التركيب الجيولوجى. التطبيق الجيد لهذه الطريقة تتطلب مهارة فى التفسير، مع العلم بأن معرفة معلومات أخرى مثل المواد الصخرية، الأعماق، عدم الإنتظام عن الحالات التحت سطحية تضاف لتسجيلات الحقل، وذلك لأنه من الصعب تحديد الموجود الحقيقى للماء الجوفى بدون معلومات معضده لأن السرعات تتراكب فى الطبقات المشبعة وغير مشبعة، وكذلك فإن زيادة السرعة مع العمق تجعل الطبقة الأكثر كثافة تحجب الطبقات الغير متماسكة الحاملة للماء التى تقع أسفلها.

الطريقة السيزمية الإنكسارية تشير بسرعة واقتصاد للمناطق الغير ملائمة لاختبارات الحفر، كما أنها غير مناسبة للمساحات الصغيرة. حيث أن أقل مسافة للمسح السيزمى لاتقل عن 100 متر فى الإتجاهات المختلفة مع ملاحظة أن الشوشرة المحلية أو الاهتزازات من مصادر مثل السكك الحديدية والمطارات ومواقع التشيد تتداخل فى تسجيلات العمل السيزمى. لهذا فإنه يتطلب فى هذه الطريقة بالنسبة للبحث عن المياه الجوفية أجهزة خاصة وتدريب تقنى جيد للعاملين والمفسرين للنتائج. وعامة تستخدم هذه الطريقة لعمل خرائط قطاعات عرضية لوديان الترسيب حيث يمكن تحديد الطبقات الحاملة للماء الغير حبيسة unconfined aquifers من التغير فى السمك.

وقد قام لينهان وكيتس Linehan and Keith 1949 بتحديد امتداد المياه الجوفية فى نيوانجلاند New England والتى أمدت بأمثلة واضحة لملائمة الطريقة السيزمية الإنكسارية لرسوبيات غير مشبعة باختلافات ليثولوجية والتى قورنت بآبار مياه منتجه.



شكل (2-71): الطريقة السيزمية الإنكسارية مطبقة لتحديد عمق مستوى الماء: أ) تقدم الموجه الأمامى ، ب) رسم خطى للزمن-المسافة.

2.4.4.2 طريقة الإنعكاس Reflection Method:

تستخدم هذه الطريقة أكثر من غيرها من الطرق الجيوفيزيائية لتخريط التركيبات التحت سطحية العميقة فى القطاع الرسوبى خاصة المتصل بالبحث عن البترول وحيث أنها غير ملائمة للأعماق الضحلة فإنها لاتستخدم فى البحث عن الثروات المعدنية ولكن أحيانا تكون نافعة لتحديد وتفسير أنواع معينة من الظواهر الاستراتجرافية. وأساسيات هذه الطريقة بسيطة لذا فإن تطبيقاتها العملية أصبحت أكثر إنتشارا.

1.2.4.4.2 أساسيات هذه الطريقة Principal of Rflection Method:

1- من الممكن تحديد العمق إلى الفاصل بين تركيبى صخرى بواسطة قياس فترة الزمن للموجات السيزمية المتولدة عند السطح وعودة الإنعكاس من الحد الفاصل.

2- تنعكس طاقة الموجه الأولية P_W والموجه الثانوية S_W جزئيا، فإذا كانت الموجات الساقطة والمنعكسة من نفس النوع أى موجه أوليه أو موجه ثانوية فإنه يمكن تطبيق القانون العادى للإنعكاس.

3- توزيع الكشافات فى هذه الطريقة من نقطة التفجير يكون صغيرا (25 م) بالمقارنة بعمق مستوى الإنعكاس الذى يكون حوالى 500 م، وعادة ما توزع الكشافات بتناسق على جانبى التفجير على طول خط مستقيم بحيث تكون مسافة توزيع الكشافات أقل من عمق مستوى الإنعكاس. وبهذا يكون الإرتجاع الملاحظ للكشافات ناتج من وصول موجه الإنعكاس وليست موجة الإنكسار.

ويوضح شكل (2-72) واحد من أبسط الأوضاع الجيولوجية، حيث يوجد سطح واحد عاكس بين تكوينين صخريين مختلفا السرعة ويبدأ مسار الموجه من نقطة التفجير S وتنعكس على السطح العاكس عند نقطة R ثم تصل إلى الكاشف عند D & D\` ...إلخ. فإذا كانت Z تمثل سمك الطبقة العلوية، T_X زمن الإنعكاس الأول للموجه فإن

$$T_X = \frac{SR}{V_1} + \frac{RD}{V_1} = \frac{2SR}{V_1}$$

وباستخدام نظرية فيثاغوث

$$\therefore\ T_X^2\, V_1^2 = (2\ SR)^2$$

شكل (2-72): أساس طريقة الإنعكاس السيزمى ويوضح الجزء العلوى من الشكل علاقة زمن الإنعكاس مع مسافة الكشافات

وحيث

$$SR = \sqrt{Z^2 + \frac{X^2}{4}}$$

$$\therefore T_X^{\ 2} V_1^2 = 4\left(Z^2 + \frac{X^2}{4}\right)$$

$$\therefore T_X^{\ 2} = \frac{4Z^2}{V_1^{\ 2}} + \frac{X^2}{V_1^{\ 2}}$$

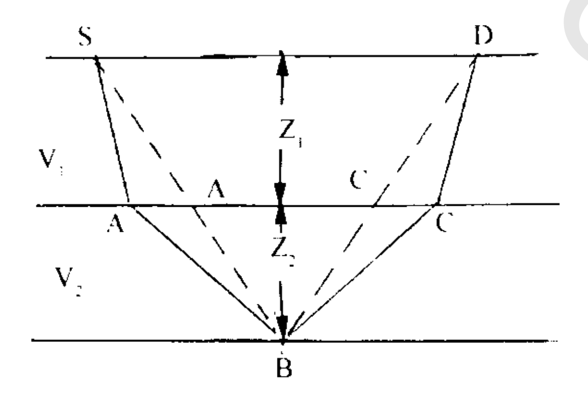
$$\therefore T_X = \frac{Z}{V_1}\sqrt{Z^2 + \frac{X^2}{4}}$$

$$\therefore Z = \sqrt{V_1^2 T_X^2 - X^2} \qquad (2\text{-}50)$$

حيث V_1 تمثل السرعة فوق مستوى الإنعكاس.

وتوضح كلا المعادلتين الأخرتين أن منحنى X & T عبارة عن قطع ناقص مقعر فى إتجاه محور X ويمثل محور T محور تماثل والخط البادئ من X = O & T = O بميل $\frac{1}{V}$ هو خط تقارب، وربما تكون هذه العلاقة الهامة محدودة الاستخدام فى المهمة العملية حيث أن جزء القطع الناقص القريب من X = O يلاحظ أنه عادة ما يكون تقريبا أفقيا.

ويلاحظ أنه إذا زادت X إلى مسافة X_{max} فإن زاوية السقوط عند A سوف تزيد إلى أن تصل إلى الزاوية الحرجة وفى هذه الحالة يصل إلى الكشاف موجه منعكسة ومنكسرة ولتجنب هذا الاختلاط لابد من المحافظة على أن $X < X_{max}$ ويوضح شكل (2-73) هذه الملاحظة. وعامة إذا وجد مستويين إنعكاس مفصولين بطبقات مختلفة السرعة فعمليا تهمل أشعة الإنكسار. فمن شكل (2-73) فإن مسار الأشعة SA`BC`D تحل محل الأشعة SABCD وهذا يبرر إعتبار الأشعة ما تكون غالبا رأسية وذلك بتوزيع الكشافات بمسافات صغيرة وفى هذه الحالة تكون فترة زمن الأشعة الرأسية المتجه لأسفل.



شكل (2-73):

$$t = \frac{Z_1}{V_1} + \frac{Z_2}{V_2} = (Z_1 + Z_2)/\overline{V} \qquad (2\text{-}51)$$

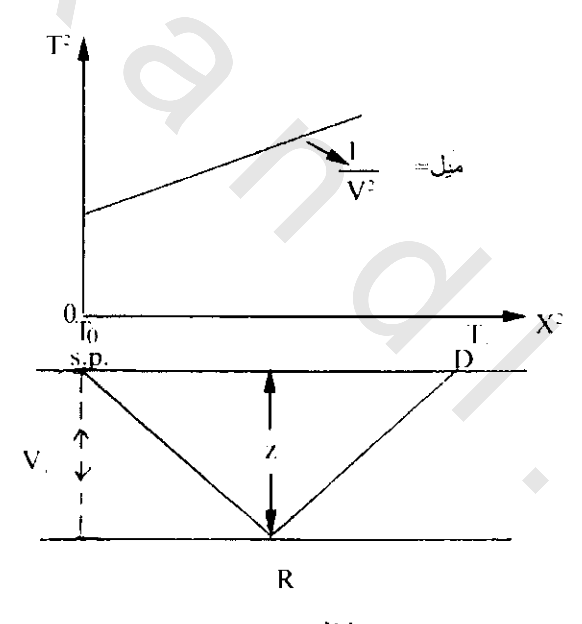
حيث $\overline{V}$ متوسط السرعة وإذا وجدت عدة طبقات فإن متوسط السرعات من الموجات المنعكسة من n^{th} طبقة

$$\overline{V} = \sum_i^n Z_i / \sum_i^n (Z_i / V_i) \qquad (2\text{-}52)$$

أما إذا رسمت العلاقة من المعادلة السابقة

$$T_X^2 = \frac{4Z^2}{V_1^2} + \frac{X^2}{V_1^2} \qquad (2\text{-}53)$$

أى العلاقة بين مربع الزمن ومربع المسافة لذلك تكون هذه العلاقة خط مستقيم كما هو موضح بالشكل (2-74) وحيث T_o تمثل الزمن فوق نقطة التفجير أى X = O فإن $\frac{2Z}{V_1} = T_o$



شكل (2-74):

$$\therefore T_o^2 = \frac{4Z^2}{V_1^2}$$

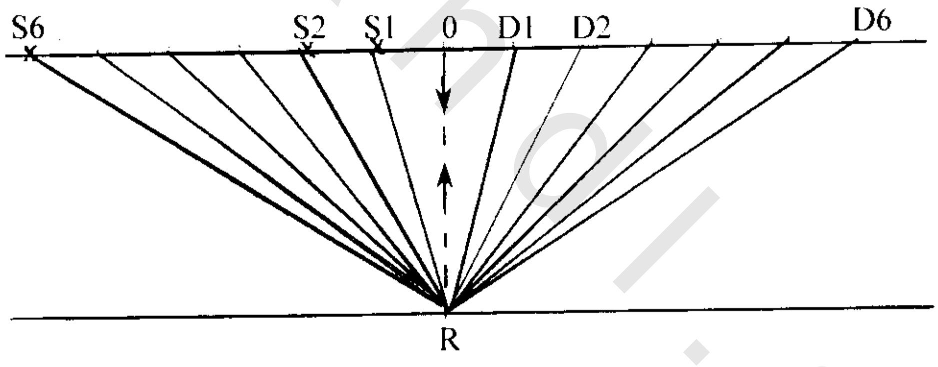
وبالتعويض فى المعادلة السابقة

$$\therefore T_X^2 = T_o^2 + \frac{X^2}{V_1^2} \qquad (2\text{-}54)$$

وتسمى هذه الزيادة فى الفترة الزمنية (T_X-T_o) بسبب البعدالعمودى لـ X أى (X=0) بالإزاحة العمودية [(Normal Move Out (NMO)] أو التصحيح الديناميكى Dynamic correction ويستعمل تعبير (NMO) لصغر كافى جدا للإزاحة العمودية بالنسبة للعمق أى أن X<<Z وتعطى كالآتى:

$$NMO = T_X - T_o = \Delta T = X^2/2\, T_o V_1^2 \qquad (2\text{-}55)$$

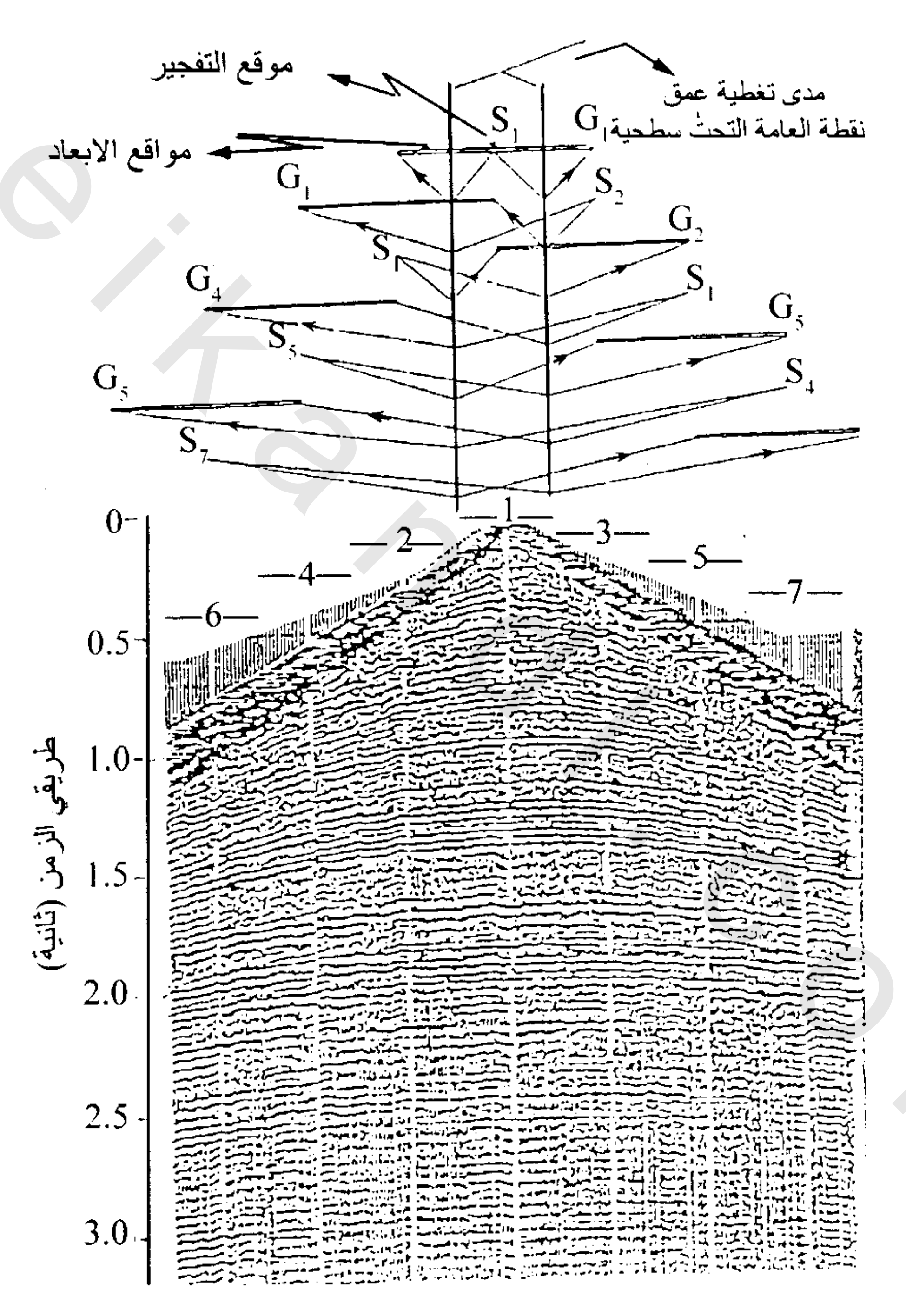
والمعلومات التى يحصل عليها بواسطة نبضة انعكاس لكاشف واحد يكون غير كاف لتوضيح تواجد مستوى إنعكاس. وعمليا يوضع صف من الكشافات (D`Ö D) عند مسافة قصيرة نسبيا (X<<Z) من نقطة الإنفجار ويكون تخريط امتداد الإنعكاس التحت سطحى بواسطة إنتشار الكشاف D , D` هو R`, R كما فى شكل (2-72). وبواسطة الإزاحة الخطية التدريجية لشكل توزيع الكشافات لنقطة التفجير يمكن تخريط مستمر لمستوى الإنعكاس وطول توزيع الكشافات D`-D لأغلب المسح الإنعكاسى يكون من رتبة لمئات قليلة من الأمتار بمسافات لبعض عشرات الأمتار بين الكشافات وتكون المسافة X، وتوزيع الكشافات D`-D كبير لعدة رتب من القيم السابقة وذلك فى الإتساع الزاوى لتفجير الإنعكاس (لعمل ترجيف عميق) وعامة يستخدم ترتيب (نسق مشطور) لتغطية مستمرة لمستوى الإنعكاس وذلك بصف الكشافات على جانبى نقطة التفجير وبواسطة استخدام توزيع شكلى ملائم فإنه من الممكن تسجيل عدد من التفجيرات لنفس نقطة الإنعكاس لجميع التوزيع المطبق شكل (2-75)، هذا النظام يسمى [نقطة العمق العامة (Common Depth Point (CDP)].



شكل (2-75): رسم خطى يوضح طرق إنعكاس الأشعة السيزمية خاصة بنقطة العمق العامة (R) (CDP) لعاكس أفقى. ويوضح الترتيب اعطاء ثنيات تغطى نقطة الإنعكاس التحت سطحية

وتعرف عدد مرات نفس النقطة المعينة على العاكس طيه مدى التغطية the fold of coverage، وإذا عينت النقطة التحت سطحية مرة واحدة فقط كما فى إزاحة التفجير العامة (الشائعة) عندئذ تعرف هذه الثنيه المفرده single-fold أو مدى تغطية 100% وإذا استعمل مثلا 12 مكان للكشافات لتعيين نفس النقطة على العاكس عندئذ يقال لها 12 ثنيه أو مدى تغطية 1200% وثنيات مدى التغطيه 6 ,12 ,24 ,48 ,96 تستخدم تكرارا فى صناعة الهيدروكربون. ومع الإرتفاع إلى 1000 ثنيه المستعملة أسيا فى المساحة الهندسية فإن 12 ثنيه مغطية تعتبر عادة زائدة. من عدد الطلقات الممره لمدى تغطية الثنية ممكن تجميعها مع بعض لجميع الآثار الناتجة من نفس نقطة المنتصف العامة (Common Mid Pint (MP) لإنتاج نقطة عامة منتصفة مجمعة (Common Mid Point) (Gather (MG) شكل (2-76).

وتستخدم أغلب التسجيلات الحاضرة على الأقل ستة ثنيات مغطية (أى نقطة الإنعكاس التحت سطحية تعين ستة مرات) بعد تصحيح (NMO - تصحيح ديناميكى Dynamic correction وتصحيح التجويه) فإن آثار CDP تجمع مع بعضها للحصول على أحسن أول إنعكاس ويستخدم تأثير CDP لتخفيف تعدد الإنعكاس شكل (2-77)، وتعمل الطريقة على أساس أن الإنعكاس المتعدد له تصحيح NMO أكبر من الإنعكاس الأول الذى يصل فى نفس الوقت.



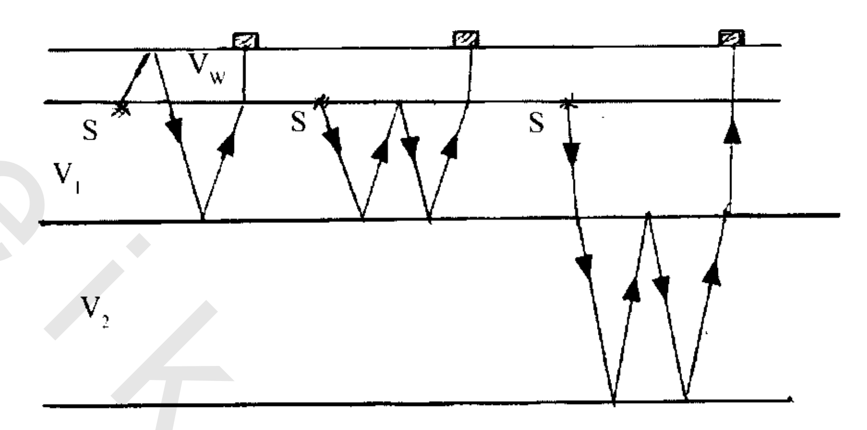
شكل (2-76): مثال لتجمع نقطة متوسطة عامة

وإذا كـان هنـاك مستويين إنعكاسيين أو أكثر فاصلين بين طبقـات ذات سرعات مختلفة شكل (2-78) فإن الزمن المقابل المقارب للإنعكاس العمودى يعطى بواسطة

$$T_1 = 2Z_1 / V_1 \quad \&$$

$$T_2 = 2(Z_1/V_1+Z_2V_2)$$

وهكذا لـ T_3 & $T_nÖ$ ،



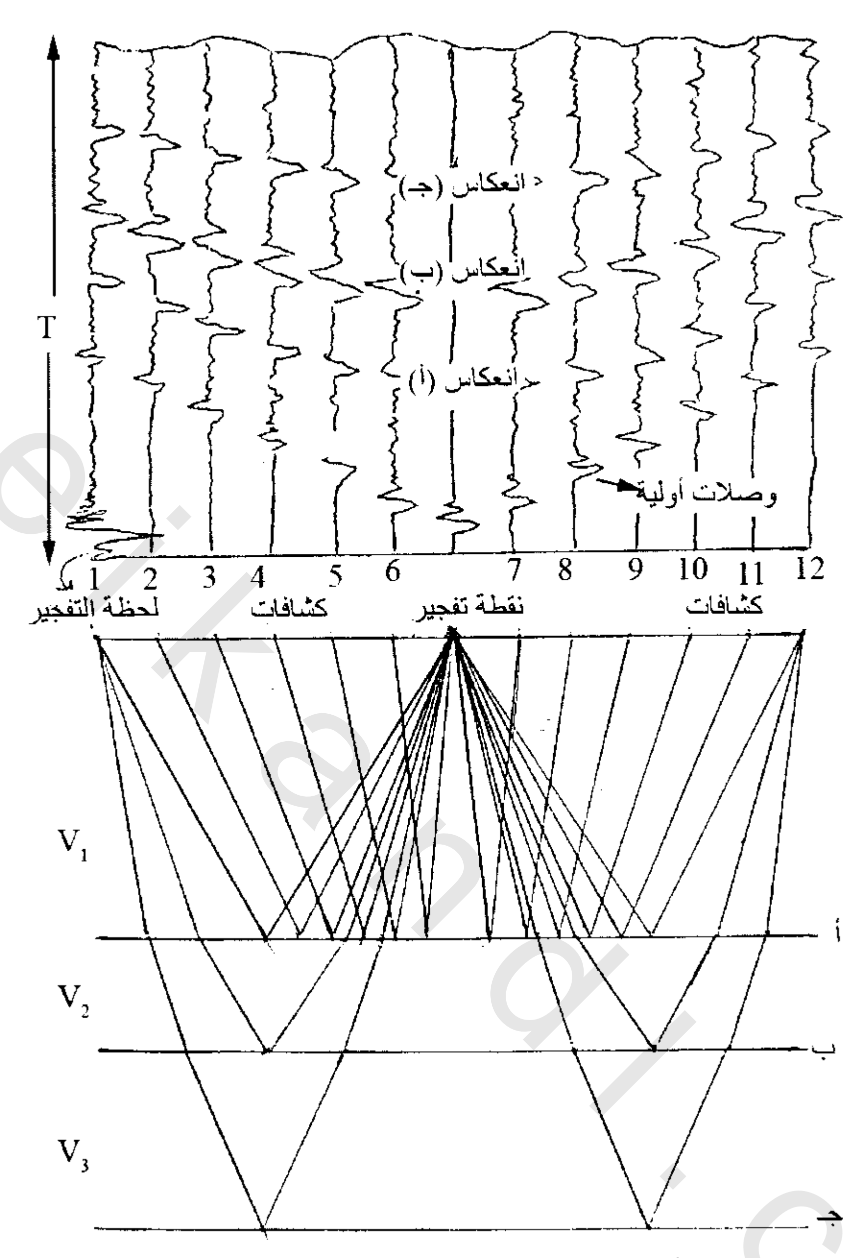
شكل (2-77): بعض تضاعف الإنعكاس. ويوضح الشكل مرور أشعة الإنفجار تحت سطح التجويه

وإذا عرفت متوسط السرعات V_1 , V_n,Ö للطبقات المتتابعة، عندئذ يمكن حساب السمك V_1 , Ö إلى Z_n لهذه الطبقات ويمكن قراءة الزمن T_1 , T_2, T_n,Ö من سجلات الإنعكاس ويوضح شكل (2-78) جزء من سيزموجراف إنعكاس لإثنى عشر أثر. وتمثل الذبذبة كأثر فردى لإشارة أنعكاس أو حركة أرضية بسبب الشوشرة، ولايدل هذا الأثر الفردى على إشارة مميزة. وربما تكون نبضات الشوشرة غير متشابهة بالضبط فى الطور عند جميع الكشافات، بينما نبضات الإنعكاس من فاصل ليثولوجى تصل تقريبا طوريا فى نفس الوقت طالما تكون الكشافات نسبيا صغيرة التوزيع طوليا. ويلاحظ فى العرض الداخلى للسيزموجراف أن مستويات الإنعكاس ذات السعة الكبيرة محددة بواسطة محاذاة مميزة لإشاراتها. وغالبا ماتكون المحاذاة مستقيمة للإنعكاسات المتأخرة بينما للإنعكاسات الأولى فإن النبضات تقع على خط منحنى خفيف والذى يكون ممثلا لخط القطع كما فى المعادلة

$$T_X = \frac{2SR}{V_1} = \frac{2}{V_1}\sqrt{(Z^2 + X^2/4)} \qquad (2\text{-}56)$$

وباستمرارية مستويات الإنعكاس ممكن تأكيد العلاقات الزمنية لسلسة من السيزموجرافات المحصول عليها بروفيلات انعكاسات مستمرة. ويرى شكل (2-79) عرض بصرى (نوع مساحة متغيرة) لربط قطاعات الزمن لمستويات إنعكاسية مختلفة فى حوض رسوبى.

وتدل هذه القطاعات الزمنية على إعطاء أكثر الصور المباشرة للتركيبات الجيولوجية التحت سطحية.



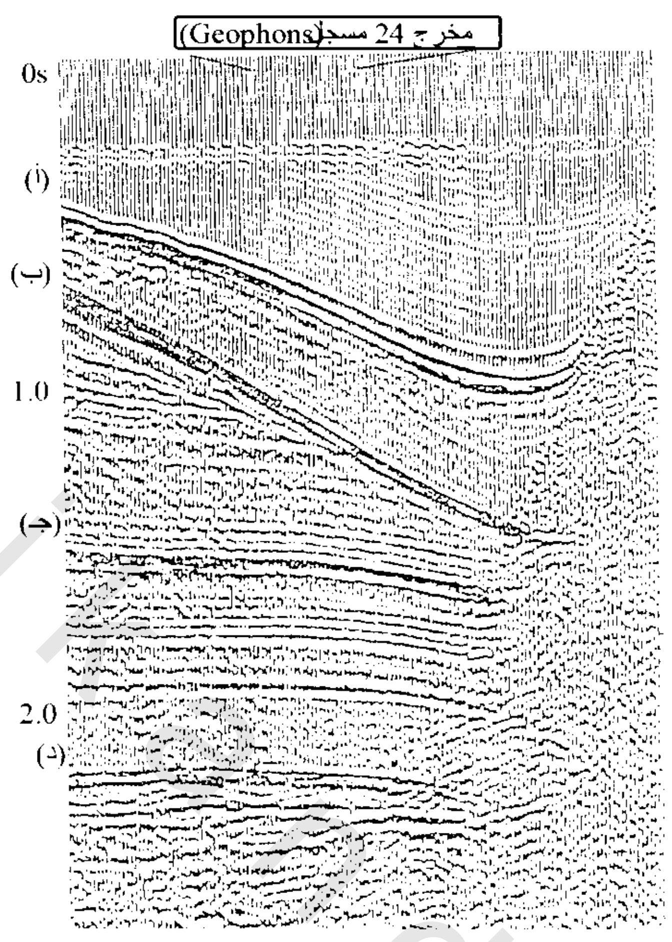
شكل (2-78): رسم خطى يوضح نتيجة سيزموجرام انعكاسى. ويرى أثر الإثنى عشر تسجيل التتابع الزمنى لنبضات الإنعكاس من طبقات الإنعكاس.

1.1.2.4.4.2 تحديد السرعة Velocity Determination من نقطتى إنعكاس:

من الشكل (2-80) فإن T_1 هى زمن إنعكاس الموجه عند الكاشف D_1 والذى يبعد عن نقطة التفجير بمسافة X_1 & T_2 زمن إنعكاس الموجه عند الكاشف D_2 والذى يبعد عن نقطة التفجير بمسافة X_2.

∴ معادلة مسار الموجه عند الكشاف D_1 هى:

$$\left(\frac{V\,T_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{X_1}{2}\right)^2 + Z^2 \qquad (2\text{-}57)$$



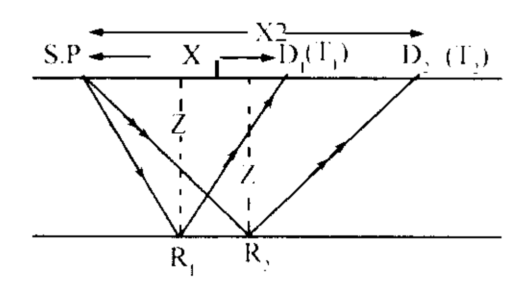
شكل (2-79): تسجيل منطقة متغيرة لمقاومة قطاعات الزمن لمستويات عاكسه متغيرة فى حوض رسوبى فى البحر الشمالى. تمثل علامات المستويات أ، ب، جـ ، د، قاعدة الثلاثى، الكريتاوى العلوى، الترياسى، وتكوين برمى بالتتابع، ملحوظة: عدم الاستمرارية الفجائية فى مستويات الإنعكاسى بسبب إرتفاع الملح

ومعادلة مسار الموجه عند الكشاف D_2 هى:

$$\left(\frac{V\,T_2}{2}\right)^2 = \left(\frac{X_2}{2}\right)^2 + Z^2 \qquad (2\text{-}58)$$

بطرح المعادلة (2-65) من (2-66)

$$\therefore V^2 = \frac{V_2^2 - X_1^2}{T_2^2 - T_1^2} \qquad (2\text{-}59)$$



شكل (2-80):

من هذا يتضح أنه للحصول على معدل سرعة لأى سطح عاكس معين فإنه من الضرورى قياس زمن وصول الإنعكاس لأى بعدين أفقيين مختلفين. ومن المعادلة يلاحظ أنه يوجد علاقة خطية بين X^2 , T^2. ولذلك فإنه فى العمل الحقلى فبدلا من ملاحظة علاقة بين نقطتين فقط للعلاقة T^2, X^2 فإنه من الأفضل الحصول على قيم لـ T^2, X^2 ويرسم أحسن خط مستقيم خلال جميع هذه النقط لكى نترك فى تأثير خطأ بعض النقط المعينة الذى سيقل بذلك.

2.1.2.4.4.2 من المعادلة (67-2):

يمكن وضع المعادلة 67-2 فى الصورة الآتية

$$T_2^2 - T_1^2 = \frac{1}{V^2}\left(X_2^2 - X_1^2\right) \qquad (2\text{-}60)$$

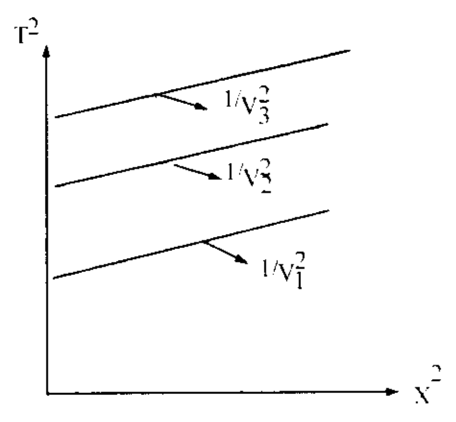
من هذه المعادلة يتضح أن V^2 هى مقلوب الميل كما فى شكل (81-2). وإذا رسمت هذه العلاقة لعدة طبقات ذات سرعات مختلفة V_1, V_2, V_n,Ö فإن كل طبقة سيكون لها خط مستقيم خاصة بها 1, 2, n,Ö كما فى شكل (81-2) ويدل ميل كل خط مستقيم على مقلوب السرعة لكل طبقة.

3.1.2.4.4.2 إيجاد متوسط السرعة من تسجيل إستمرارية السرعة

Continuous Velocity Logging (CVL):

أو بروفيل رأسى سيزمى Vertical Seismic Profile (VSP):

إذا كان فى المنطقة بئر عميق فإن طريقة (CVL = VSP) تستخدم لتحديد متوسط السرعة وبداية الطريقة تتكون من تفجير شحنة ديناميت فى حفرة ضحلة على جانب البئر العميق والذى فيه توضع كشافات لتسجيل زمن وصول الموجات عند فترات عميقة مختلفة تتراوح من 1-2 م كما فى شكل (82-2) وفى هذه الطريقة يقاس فترات الزمن المقابلة لفترات العمق بواسطة إنزال الكشافات ويحسب منها الفترات السرعية interval velocity. ومن هذه النتائج تحسب ويرسم متوسط السرعة، وتسمى هذه الطريقة بالتسجيل الصوتى sonic log ويوضح شكل (83-2) جزء من تسجيل استمرارية السرعة مع القطاع الجيولوجى المقابل له والخط المتصل فى الشكل يدل على متوسط السرعة.



شكل (81-2): تحديد السرعات المتوسطة لثلاثة مستويات جيولوجية متزامنة بتحليل الانعكاسات على إنتشارات السرعة

2.2.4.4.2 الانعكاس من فاصل Reflection from Dipping Interface:

إذا استقبلت الموجه المنعكسة من سطح فاصل مائل عند نقطتين أو أكثر على طول السطح فيمكن تحديد زاوية الميل من اختلاف الزمن بين الإنعكاسات. وفى القطاعات الجيولوجية فلعدد من الفواصل الليثولوجية أوضاع مائلة مختلفة.

ويوضح شكل (84-2) الطريقة (التصويرية) والتى تعرف بالطريقة التصويرية وغالبا ماتستخدم لتحديد مكان مستوى الميل.

من شكل (84-2) SAD_1 طريق الأشعة الحقيقية `AS الإمتداد لـ $D_1A$، ويساوى SA. وبواسطة العناصر الهندسية نرى أن `S صور مرآتية لـ S فى مستوى الإنعكاس وإذا كانت t_1, t_2 Ö إلخ الفترات الزمنية على طول SAD_1, SAD_2 ... إلخ. Vt_1, Vt_2, Öإلخ أنصاف أقطار لأقواس مراكزها الكشافات فسوف تتقاطع عند `S، ومن الواضح أن المنصف العمودى لـ `SS تمثل مستوى الإنعكاس.

وباستخدام نظرية الجتا للمستوى الهندسى للمثلثين $SS`D_1$, $SS`D_2$ فتكون المسافة العمودية من S إلى مستوى الإنعكاس هى

$$d = \frac{1}{2}\left[X_1X_2 + \frac{V^2\left(X_2t_1^2 - X_1t_2^2\right)}{X_2 - X_1}\right]^{1\ 2} \qquad (2\text{-}61)$$

حيث $SD_2 = X_2$, $SD_1 = X_1$

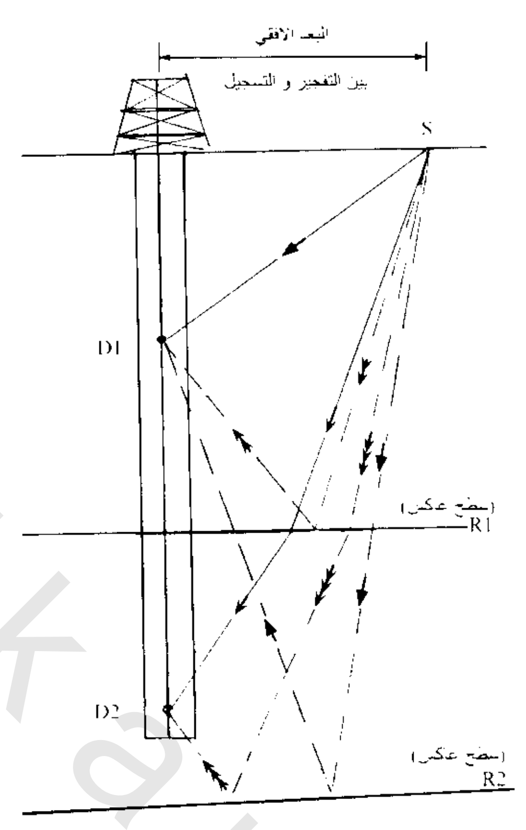
وبنفس النظرية يمكن إيجاد زاوية الميل θ من

$$\sin\theta = \frac{V^2\left(t_2^2 - t_1^2\right)}{4d(X_2 - X_1)} x \frac{X_2 + X_1}{4d} \qquad (2\text{-}62)$$

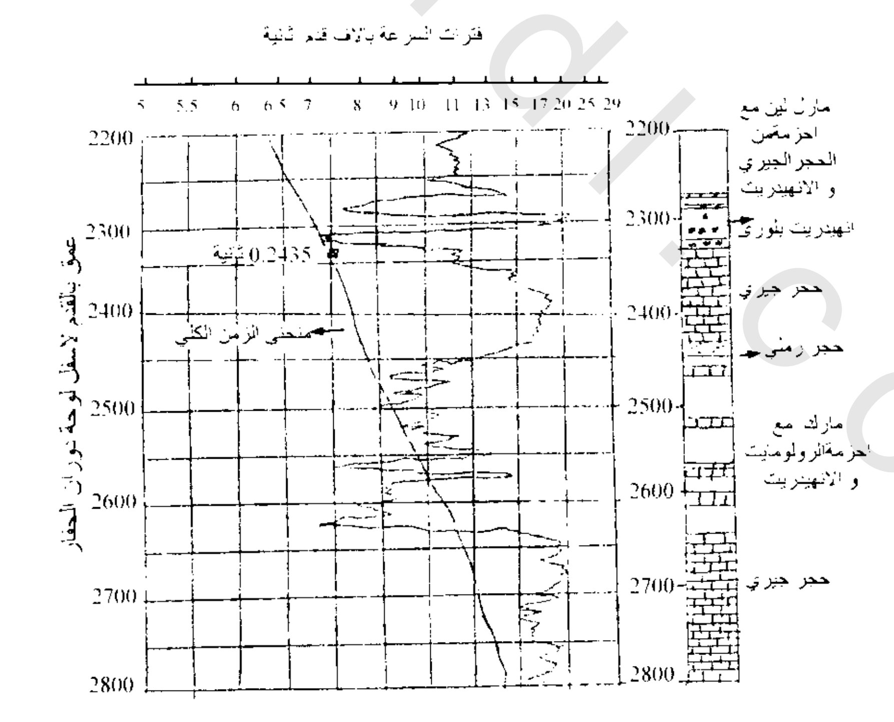
وإذا كانت D_1, D_2 على جانبى عاكس لـ S $(-X_1=X_2)$ t_2, t_1 تقريبا يساوى 2d/v (زمن الإنعكاس العمودى) فإن المعادلة السابقة تكتب فى الصورة البسيطة

$$\sin\theta = \frac{V\Delta t}{\Delta X} \qquad (2\text{-}63)$$

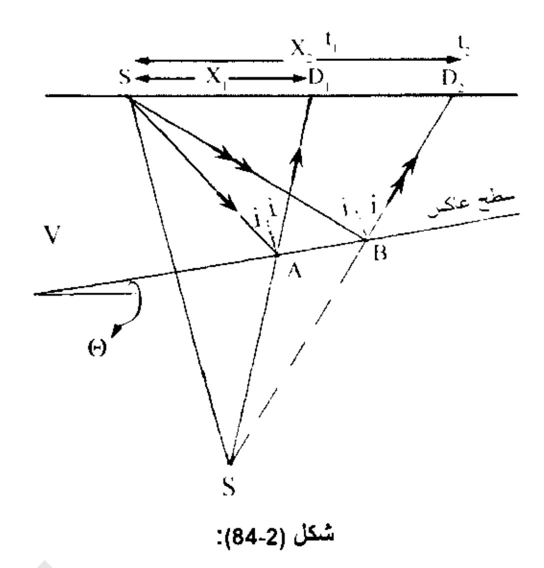
حيث $\Delta t = t_1$ ñ t_2 ، ΔX = مسافة توزيع الكشافات



شكل (2-82): رسم تخطيطى يوضح أساس بروفيل رأسى سيزمى (VSP)، حيث تعلق الكشافات بالبئر D_2, D_1 ويتم التفجير عند S. ويتم تسجيل الموجات المنعكسة والمحايدة عند الكشافات D_2, D_1 و R_2R_1 عواكس متتالية



شكل (2-83): جزء من تسجيل إستمرارية السرعة مع القطاع الجيولوجى المقابل له والخط المتصل فى الشكل يدل على متوسط السرعة



شكل (2-84):

3.2.4.4.2 طرق المسح Survey Methods:

1.3.2.4.4.2 طريقة المسح ذا الإتجاهين Two-Dimensional Survey Method:

يتوقف تصميم المسح على الهدف المستخدم من أجله، فيختلف فى حالة التفسيرات الهندسية البسيطة عن البحث والتنقيب عن المواد الهيدروكربونية، حيث يوجد أيضا فروق فى التكاليف. وتستخدم هذه الطريقة عادة فى التفسيرات الهندسية ويكون النظام عبارة عن نقطة تفجير مع مجموعات من الكواشف تتراوح ما بين 12 إلى 24 كاشف ذات تردد أساسى لايقل عن 100 هرتز متصلة بكابل إلى جهاز السيزموجراف الهندسى. ويمثل كاشف أثر واحد على التسجيل. ومن أجل مسح أكبر على إتساع واسع فإن عدة كشافات تتجمع مع بعضها لتكون مجموعة أو صف من الكشافات ويجمع التأثير الخارج مع بعضه ويسجل على قناة واحدة. ويوجد عدة أنظمة مختلفة لإجراء هذه الطريقة:

1- الصف الخطى In-line array: وفيها تقع جميع كشافات المجموعة على طول خط المسح.

2- الصف العمودى Perpendicular array: وفيه تصف الكشافات عمودية على خط المسح.

3- الصف الصليبى Cross array: وتشمل الطريقتين السابقتين.

4- الرقعة أو البقعة Patch.

فى بعض الحالات ترتب عدد من الكشافات تبلغ عدة مئات فى شبكة مربعة وتعرف هذه المجموعة من الكشافات بالرقعة.

وعند تمثيل الكشافات بمجموعات ففى هذه الحالة تحسب المسافة بين نقطة التفجير ومركز المجموعة وتعرف بفترة المجموعة group interval. واستخدام المجموعات المتكررة للكشافات تعطى رد مباشر للصفوف بقصد تقوية الموجات المنعكسة المنقولة القريبة (الرأسية المتجه لأعلى) وتقلل أى شوشرة متجمعة منقولة أفقيا والتى يمكن ربطها من أثر إلى أثر فى تباين مع الشوشرة العشوائية والتى تجمع بين الأثر. والشوشرة المتجمعة مثلا ربما تكون فى شكل موجات رالى. وإذا كانت المسافة بين الكشافات المفردة فى المجاميع تساوى نصف

طول الموجه لموجه رالى عندئذ ستكون الإشارات على الكشافات المتتالية خارج الطور وتزال بواسطة تجمع المخارج من الكشافات. وأى إنتقال لإتجاه أعلى لإنعكاس الموجه الجسمية ربما تصل للكشافات فى نفس اللحظة. والمخارج الكلية تكون عندئذ مجموع مافى إشارات الطور من الكشافات خلال المجموعة. وهذه الميزة أيضا تساعد لترشيح بعض الشوشرة العشوائية ولها تأثير كلى للزيادة ليس فقط لشدة النبضات (الإشارات) ولكن أيضا لنسبة شوشرة النبضات.

عادة ما يكون وضع نقط التفجير لمسح الإنعكاس على الأرض كالآتى:

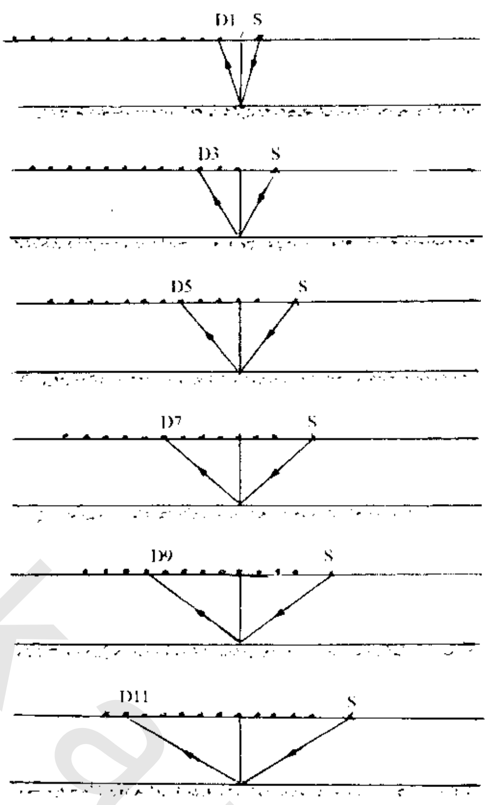
1- تفجير نهاية الخط إلى الكشافات.

2- تفجير إنتشارى وفيه يوضع مصدر التفجير خلال خط الكشافات.

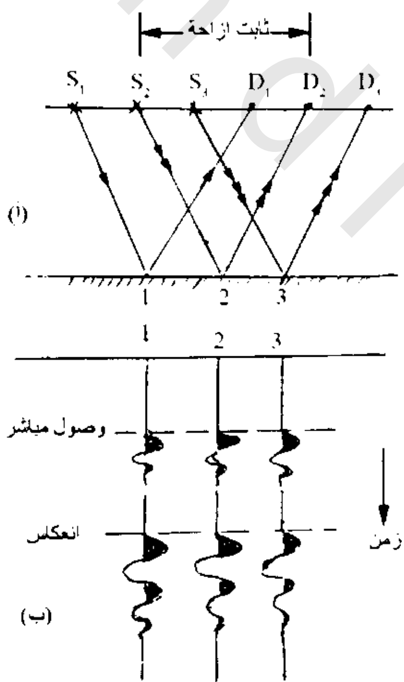
ويمكن حساب طى التغطية لبروفيل الإنعكاس من التعبير الآتى N/2n حيث N العدد الكلى لمجموعة الكشافات فى التوزيع ، n عدد المسافات بين المجموعات والتى بواسطتها يتحرك التوزيع الداخلى على طول خط المسح بين التفجيرات وأفضل مسافة إزاحة تكون مدى الإزاحات التى عندها يصل إنعكاس صخر الأساس قبل أى من الإهتزازات السطحية او الموجات الهوائية. وتعتمد تزايد إختيار المسافة المتحركة بين التفجيرات على نوع الهدف المقصود. إذا كان العاكس المسئول له دلالة ميل أوتضريس سطحى عندئذ تكون أفضل أقل مسافة تتراوح ما بين 1-3 متر. وإذا كان الهدف العاكس سطح معتدل عندئذ ممكن زيادة المسافة ربما إلى 5 متر أو أكثر.

أما المسح المائى للتنقيب عن المواد الهيدروكربونية فيستخدم واحدة أو أكثر من توليفة للتفجير (صفوف بندقية الهواء) إلى واحد أو أكثر من خطوط الكشافات المائية Hydrophone والتى فيها عدد من الكشافات المائية تتصل مع بعضها لتكون مجموعة نشطة ومجموع الخارج منها يغذى قناة واحدة. أما فى حالة المسح الهندسى الصغير فإن المصدر يكون بندقية هواء واحدة أو تردد عالى مع خط كشاف مائى قصير، ربما يكون طوله أقل من 10 متر ويجمع الخارج من كل كشاف مائى ليعطى قناة واحدة فقط. لهذا فبالنسبة لتوزيع 24 كشاف (N=24) بمعدل تحرك لفترة واحدة لكل فترة تفجير (n=1) فيكون تغطية الطيه $12 = 1x\frac{24}{2}$. ويوضح شكل (2-85) مثال لترتيب إنتشار تفجير متتابع مطلوب لإتمام 6 تغطية طيات من توزيع 12 قناة.

وبالنسبة للبحث الهندسى الضحل والمياه الأرضية فإن أبسط صورة لإستخدام المسح الإنعكاسى هى إستخدام كشاف واحد يزاح عن المصدر بمسافات ثابتة. ويعرف هذا الشكل المسحى بطريقة الإزاحة الثابتة ويتحرك المصدر والمستقبل (الكشاف) بتقدم على طول خط المسح فى زيادة متساوية لكل أثر ينتج من كشاف مفرد من كل تفجير شكل (2-86) ويحصل على التسجيل السيزمى بواسطة وضع الأثر المتتابع كل جنب للآخر وبالنسبة لمتطلبات مسح خط قصير فإنه من الملائم إستخدام معلومات أساسية بواسطة سيزموجراف بسيط ورخيص لمسح إزاحة ثابتة. أما بالنسبة لمسح كبير فمن الأفضل تنظيم الكشافات فى صف بـ 12 إلى 24 مقطع والتفجير بأفضل موازنة لكشاف واحد نشط مع إغلاق كل الكشافات الباقية. وفائدة هذا التقريب يعتمد على أختيار أفضل الموازنة والمسافة المختارة بين الكشافات لاكتساب أغلب النتائج الكافية وتصور العاكس.

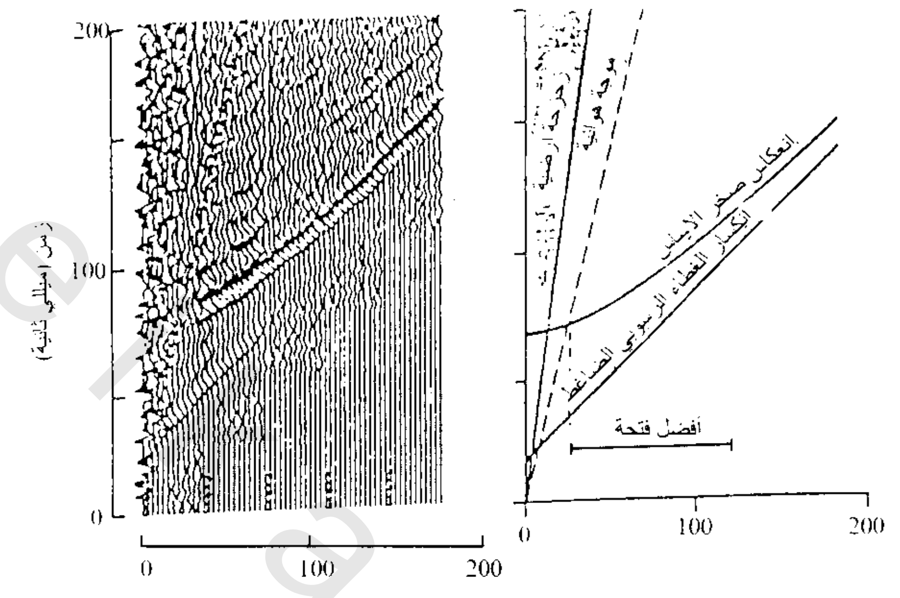


شكل (2-85): تتابع وضع مسحى لمتطلبات تغطية 6 طيات، تدل S على المصدر، D على الجيوفونات (كشافات) وهيدروفون (كشافات بحرية)



شكل (2-86): مسح أنعكاسى ثابت إزاحة لمسح انعكاس سيزمى باستخدام أفضل إزاحة نافذة أ) طرق الإشعاع، ب) بثلاث آثار متجاورة باستخدام رسم تخطيطى

إذا كان المصدر والمستقبل الفردى يقعان افتراضيا عند نفس النقطة فإن الاهتزازات السطحية وربما الموجه الهوائية من التفجير ستعطى الكشاف ولا يحصل على معلومات مفيدة. ولكى نقلل تأثير الاهتزازات السطحية يكون من الضرورى إزاحة الكشاف من المصدر بكمية مثلى (شكل 2-87). ومسافة الإزاحة هذه من الأفضل تحديدها من محاولات تفجير الانعكاس لقياس أهم إزاحة ملائمة لكى يمكن تصور العاكس المطلوب.



شكل (2-87): أ) تسجيل ضحل مركب ناتج عن 5 تسجيلات (12 قناة) كل منها سجلت بزمن تأخير مختلف بين لحظة التفجير وبداية التسجيل ، ب) رسم خطى لزمن -مسافة يوضح الأحداث السيزمية الكبيرة على التسجيل. أنسب فتحة تكون لمدى أبعاد (المصدر-المستقبل) التى تسمح لملاحظة هدف الإنعكاس بدون الرجوع من أحداث أخرى (سلامة وآخرين Slama et al. 1990)

2.3.2.4.4.2 المسح ثلاثى الإتجاه Three-Dimensional Survey:

بدأت هذه الطريقة فى عام 1975 وبدأت تنمو بسرعة فى الإستخدام خاصة بعد عام 1985 وكانت تستعمل سابقا فقط عبر حقول إنتاج كاملة التكوين لتنقيب جيد لاستخلاص الهيدروكربونيه. وتستعمل ايضا لتحديد إتجاهات نوعية الخزان. والتميز البرهانى للمسح الثلاثى عن المسح الثنائى جعل إستعمالها يزيد، وفى الحقيقة سيكون المسح الثلاثى طريقة أساسية فى البحث والتنقيب عن المواد الهيدروكربونية لسنوات عديدة.

وبينما تكون هذه الطريقة ناجحة تماما فى الصناعات الهيدروكربونية والتفسيرات الهندسية، فتستعمل أيضا فقط عندما تكون التكاليف المالية للإنشاءات عالية مثل التفسيرات الأساسية لإنشاء المحطات النووية أو أماكن الدفن العميقة للنفايات العالية الإشعاعية.

ويتطلب المسح الثلاثى ترتيب التفجير والكشافات بعناية فائقة لتجنب حيز مستعار. وفى الحقل يحصل على النتائج فى مجموعات متبادلة تعرف متجمعات التفجير العام (common shot gathers)، حيث تجمع جميع المتبادلات مع بعضها وتكون تجمعات التفجير العام مجموعة كاملة لنتائج المسح الثلاثى.

يتم المسح الثلاثى البحرى بواسطة تفجيرات بمسافات متقاربة بخطوط متوازية تعرف بالتفجير الخطى (line shooting) (يبحر مركب التفجير فى محاذاة خطوط الكشافات المتوازية). أما على الأرض والمياه الضحلة فالمسح يستخدم عدد من خطوط الكشافات المنتشرة متوازية مع بعضها لنقطة تفجير موضوعة عمودية على هذه الخطوط بتشكيل يعرف بالتفجير اللفائفى (swathe shooting).

فى المسح البحرى يعرف الإتجاه الذى يبحر فيه مركب التفجير محاذاة الإتجاه (in-line direction)، بينما فى المسح الثلاثى الأرضى فإن كابل الكشافات ينتشر على طول محاذاة الإتجاه (In-line direction)، ويعرف الخط العمودى على محاذاة الاتجاه بخط الإتجاه المتقاطع (cross-line direction)، وتكون المسافات بين الخطوط البحرية أقل من 50 متر ويمكن أن تصل إلى 12.5 متر.

فى المسح الثنائى الاتجاه فإن الآثار traces تتجمع كنقطة متوسطة عامة (CMP)، أما فى المسح الثلاثى الإتجاه فإن الرسومات تتجمع مع بعضها كتجمع خليات عام (صناديق Bins). وتأثيريا فإن النقط العامة للإنعكاس من عدد كبير للمصدر وازدواج المستقبلات تقع فى داخل مساحة صندوق (Bin) على العاكس (شكل 2-88) بحجم مثالى لـ 25x25 متر. وتكون ثنية التغطية عندئذ هى المرسومات traces المتطابقة لتعطى صندوق (Bin) ويجب الأخذ فى الاعتبار ثلاثة مجموعات الإحداثيات الآتية:

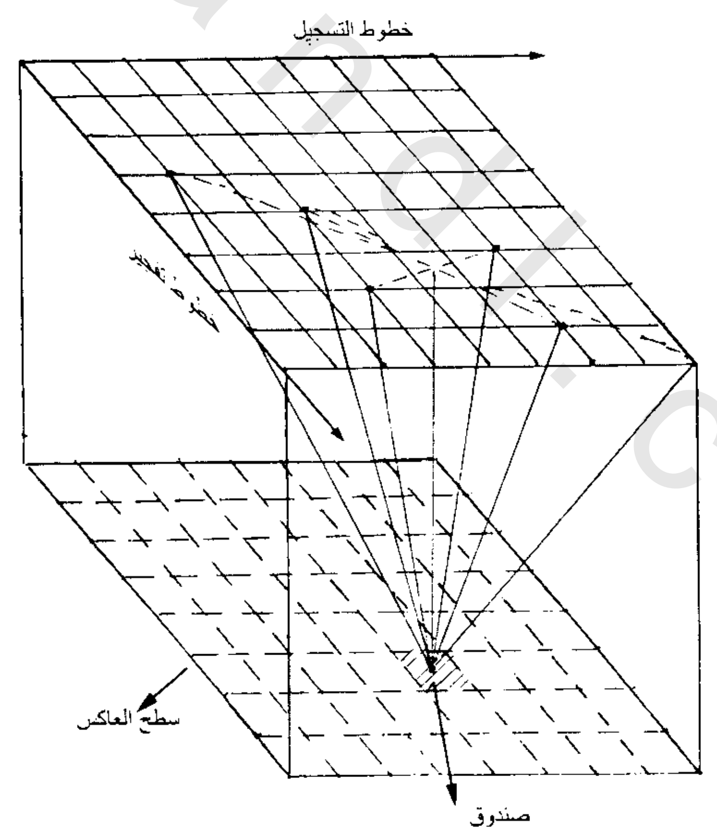
1- فترة الزمن Travel time.

2- ثنائى إحداثيات الحيز Two spatial coordinate.

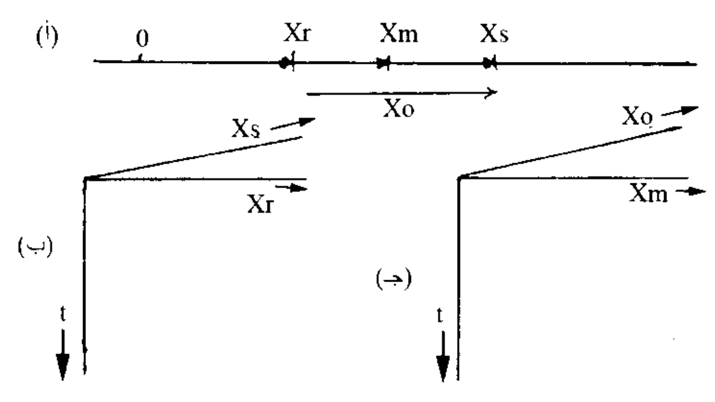
3- النقطة المتوسطة Mid point (X_m).

4- الإزاحة Offset (X_a).

ونفس النتائج من الممكن وضعها فترات الزمن terms of travel time (X_c) واحداثيات المستقبلات X_c. والعلاقة بين هذه المجموعات الإحداثية موضحة فى شكل (2-89).

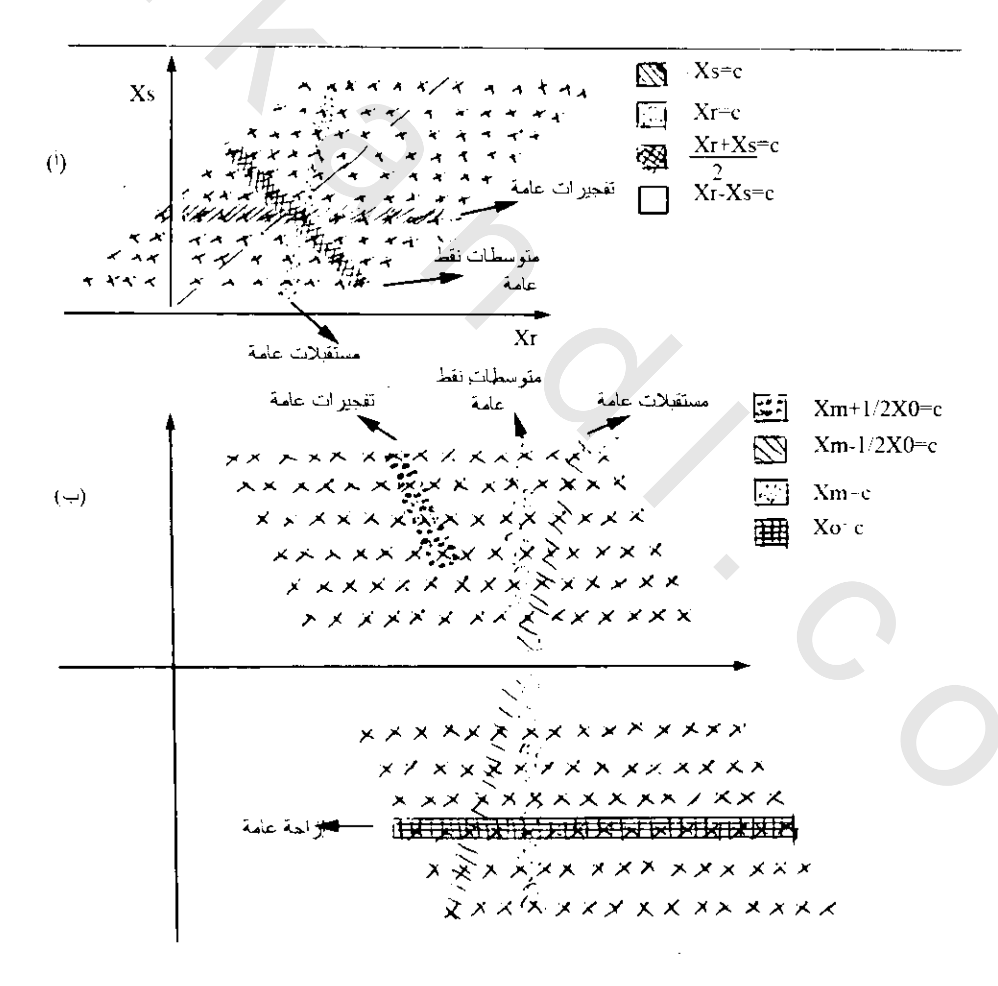


شكل (2-88): مسح ثلاثى الأبعاد مع عدد قليل من طرق الإشعاع توضح صندوق تجمعات تفجير عام. لايوجد مطلب لحجم الصندوق ليكون مساوى للتفجير (شبكة الاستقبال) وهذا موضح برسم خطى



شكل (2-89): نتائج نظام ترتيب: أ) أربعة أنظمة ترتيب خاص فى علاقة مع الخط السيزمى (المرجعى)، ب) نظام ترتيب وتفجير واستقبال، جـ) نظام ترتيب إزاحة نقطة المنتصف (فيرمير Vermeer 1991)

ويوضح شكل (2-90) طريقتين للتوزيع الهندسى للمصدر والمستقبلات. أما شكل (2-91) فيوضح نظام مسح إضافى.



شكل (2-90): وصف لما قبل تجميع نظام نتائج سيزمية: أ) نظام ترتيب تفجيرات ومستقبلات (شكل سطحى)، ب) نظام ترتيب إزاحات منتصفات النقط (شكل تحت سطحى أو شكل ترتيبى) (فيرمر Vermeer 1991)

4.2.4.4.2 النبضات السيزمية: Seismic Pulses:

1.4.2.4.4.2 انتشار النبضات Propagation of pulses:

عندما تنفجر الشحنة فإن المادة حولها تتهدم وتتولد مويجات سيزمية فى إتجاه الإنتقال الخارجى، حتى عند المسافات الكبيرة والتى تبلغ عدة أمتار من التفجير فإن أكبر إجهاد إختبارى للمادة ربما يزيد معدل العلاقة العكسية للإجهاد والإنفعال Stress & strain) وأيضا يتضح الوضع العام للإنتشار الموجى. وعندما تكون المسافة حول التفجير التى يقع عندها أكبر إجهاد فإن علاقة الإجهاد والإنفعال تعرف بالفراغ المكافئ. وتعتبر هذه المنطقة (الفراغ المكافئ)، غالبا أكثر تأثيرا من التفجير نفسه حيث تكون مصدر للنبضات السيزمية. تبعا لنظرية رشر Richer 1955، ينتقل مركز النبضات بسرعة تبعا لخواص وسط الإنتقال، ويقاس اتساع النبضة (بـ µS) والتى تزيد بزيادة إنتشار الزمن تبعا لقوانين معروفة (محددة). فمثلا فى الطفله، فإن إتساع النبضة تتناسب مع جذر مربع الزمن. إذا واجهت النبضة حد فاصل بين تركيبين جيولوجيين لهما ممانعة صوتية مختلفة (حاصل ضرب السرعة المرنة وكثافة التكوين) سيحدث إنعكاس للنبضة المتسعة وتستقبل عند سطح الأرض بعد مدة من الوقت شكل (2-92) (أنستى Ansty 1955). ويعتمد شكل واتساع النبضة وكذلك طيف ترددها على فترة إنتقال الزمن. وسوف يشوه امتداد النبضة أما لأكبر أو لأقل بواسطة أجهزة التسجيل.

بالإضافة لوجود تباين كبير للسرعة والتى تسبب انعكاسات قوية، عامة يكون هناك عدد من تباين سرعى صغير فى العمود الجيولوجى. لكل هذا وكذلك لعدم تجانسات أخرى سوف تتولد نبضات انعكاسية والتى تصل للسطح فى شكل متسع يتكون التسجيل السيزموجرافى بين إنعكاسية قوية وليس فقط لشوشرة امتداد كبير ولكن كل هذه الإنعكاسات تتراكب عليه وتتداخل كل فى الأخر. ويطرح ماتبقى بعد هذه الإشارات، وتتكون الشوشرة بسبب الموجات السطحية والعرضية (تضاعف الموجات المنعكسة) حيث تنتقل خلال طبقات التجويه والرياح. الآن، يكون التسجيل السيزمى قيم لاحتوائه على كمية من المعلومات عن عدم التجانس التحت سطحى ولكن الجزء الصغير منه الشامل على الشوشرة فيمكن استخراجه بواسطة نظرية الأشعة البسيطة.

2.4.2.4.4.2 تخفيف النبضة Attenuation:

تقل سعة الموجه السيزمية عند إنتشارها خلال الأرض بسبب ثلاثة عوامل:

أ- التفرق الهندسى للأشعة مع الانتقال الجزئى.

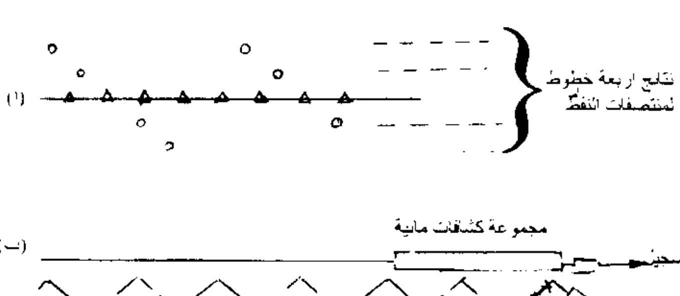
ب- الإنعكاس عندالحدود السمعية.

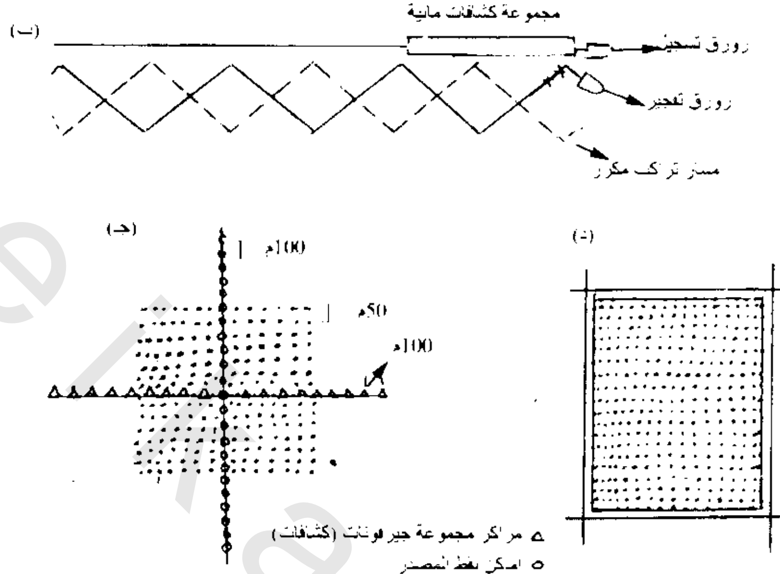
جـ- إمتصاص الطاقة فى وسط الإنتقال.

التأثير الأول معروف جيدا حيث أن سعة الموجات الكروية تقل فى السعة فى تناسب عكسى مع مسافة إنتقال الموجه من المصدر. ومعاملات الإنتقال والإنعكاس للفواصل الجيولوجية **فى التأثير الثانى** هى دالات للتباين المرن بين الطبقات المتلاصقة . بعض المعلومات حول هذا التباين يمكن الحصول عليها من مقارنة سعات نبضات الإنعكاس. ومع أن نظرية هذا العنوان (تخفيف النبضة) طورت إنتشار استخدام تقدم التحكم الأوتوماتيكى فى المكبرات السيزمية فما زالت مؤثر مانع لهذه المقارنة. ولكن بنظام التسجيل الرقمى الحديث الذى له معدل امتداد ديناميكى فإن هذا الموضوع جذب إنتباه أكثر لمعالجة هذه المسألة.

مستوى تخفيف الموجات بسبب إمتصاص الطاقة **فى التأثير الثالث** يكون أكثر معرفة بالشكل الأسى.

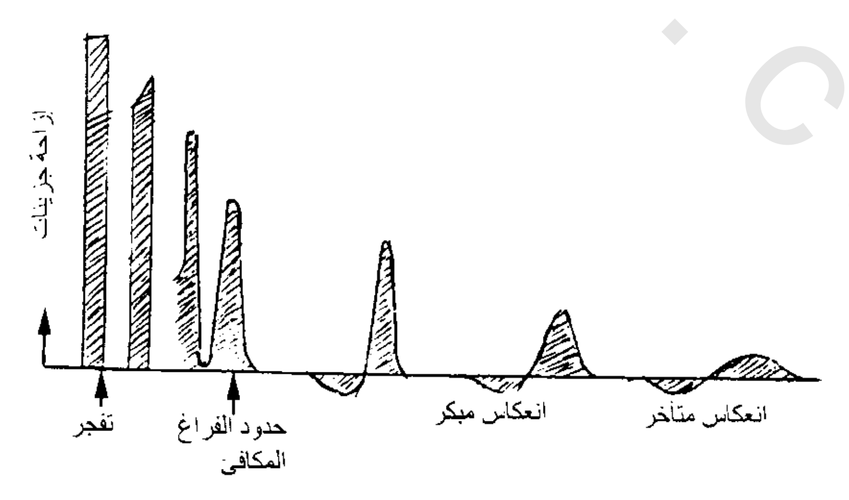
$$A = A_o \exp(-\delta f/V)$$





شكل (2-91): مسح تخطيطي بحثي لثلاث أبعاد: أ) تخطيط خطي واسع، ب) زجزاج (بكوفكس ونوتيوم Bukovics and Nooteboom 1990، ج) زلزال حلقي حيث توضع المصادر والكشافات حول محيط (شرف Sheriff 1991)

حيث δ هي النقص الأسي، f التردد، A المسافة، V السرعة. القيمة النموذجية (δ لكتل مواد الأرض حوالي 0.03-0.02). واقترح نوعين للامتصاص الميكانيكي هما اللزوجة والأجزاء الصلبة. وقد لوحظ هذين الإمتصاصين في الصخور ولكن يبدو أن الأجزاء الصخرية عامة هي السائدة. وظاهريا فإن وجود المياه تزيد النقصان في الإمتصاص الميكانيكي وفي نفس الوقت تؤدي لسيادة الإخماد اللزوجي.



شكل (2-92): إتساع النبضة السيزمية

5.2.4.4.2 الترشيح وترتيب الجيوفونات Filtering and Geophone Arrays:

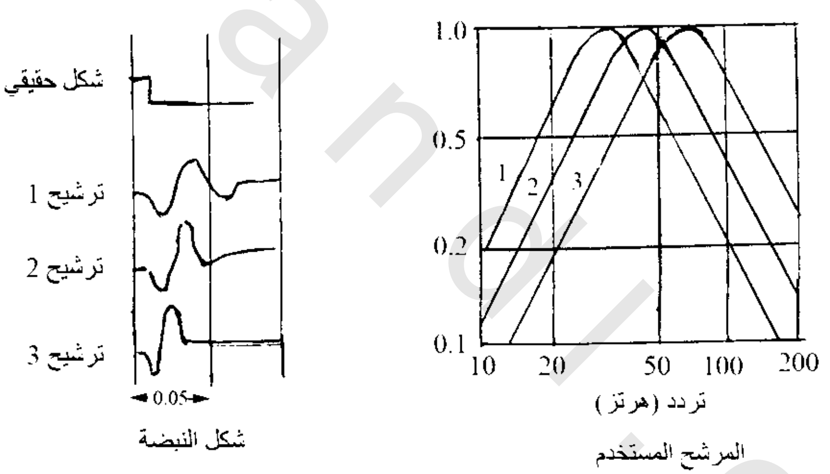
1.5.2.4.4.2 الترشيح Filtering:

أهمية الترشيح هو إستبعاد الشوشرة المشارة إليها سابقا. هذه الشوشرة والتى ترجع أساسا للموجات السطحية (دحرجة أرضية) والرياح مسئولة عن إخفاء إشارات الإنعكاس. عامة، عمليا يتم فى الترشيح قطع تردد دحرجة الأرض المنخفضة بواسطة مرشح عالى المرور وتردد الرياح العالى بواسطة مرشح منخفض المرور. ومن أضرار المرشح أنه أحيانا يشوه شكل نبضة الإشارة. وعادة ما تكون الإشارة مستطالة وأيضا مزاحة الطور. لذلك فإن خواصها القممية والقاعية تزاح زمنيا كما هو موضح فى شكل (2-93) لنبضة بدايتها لها شكل طورى. وحاليا يستخدم الترشيح العددى أكثر من استخدام الأجهزة والتى مازال أيضا منتشرة. وعلى هذه التسجيلات السيزمية يتم تعكيس لتأثير وسط الانتقال، والتلامس وتقريب المويجة، وذلك بغية معرفة الإمتداد لها تحت مسارها فى الانتقال. الغرض الأساسى لهذا هو إشتقاق الشكل الأصلى للموجه، وتعرف هذه الطريقة بثنائى الطى وقد وضح سميث Smith 1958 طرق الترشيح بالأجهزة وكذلك الترشيح الحسابى.

2.5.2.4.4.2 مضاعفة صفوف الكشافات وتستيفها

Multiple Geophone Arrays and Stacking

ويتم ذلك بتجميع نقط العمق العامة [(Common Depth Point (CDP)] كما ذكر فى صفحة 104 , 105.

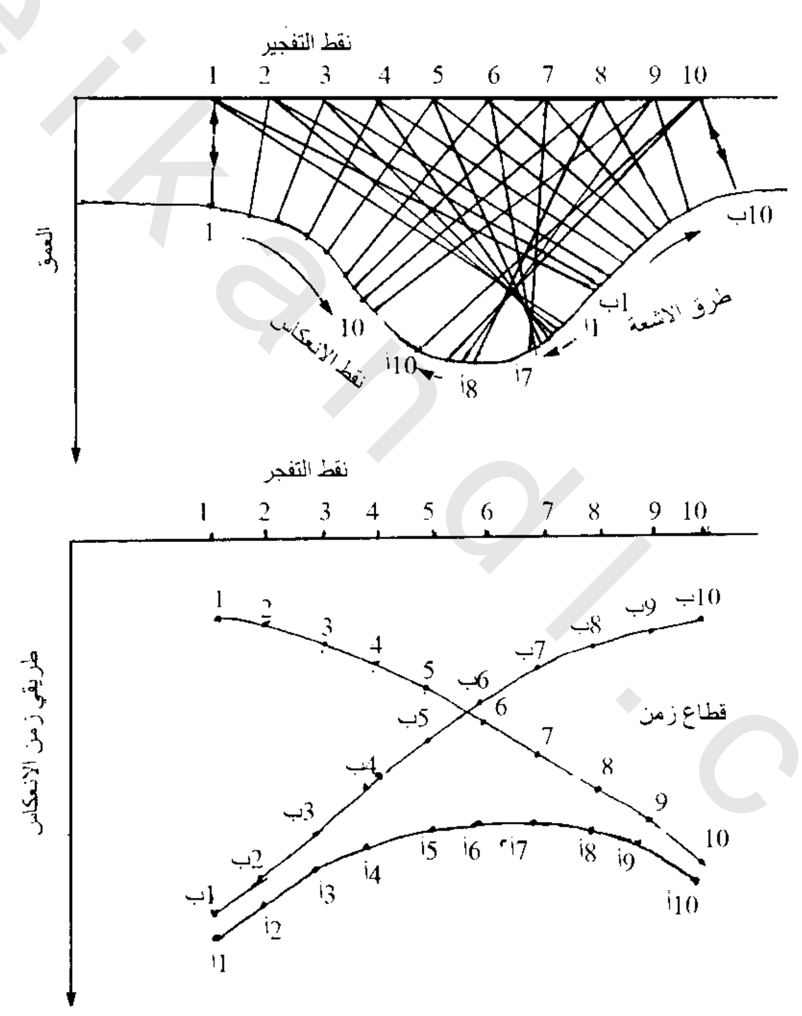


شكل (2-93): تأثير الترشيح على إشارة متدرجة

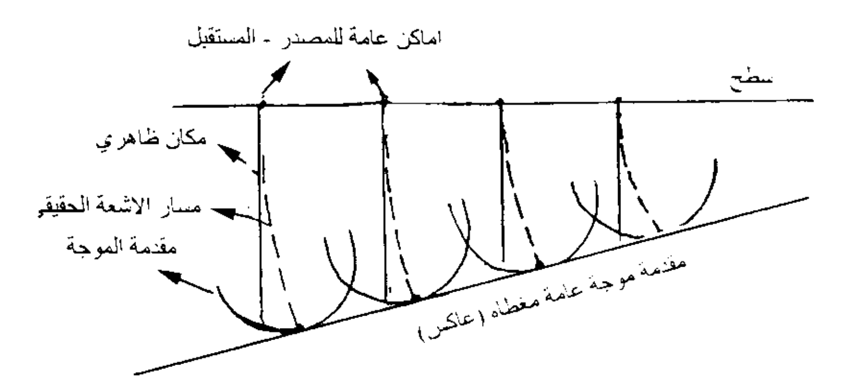
6.2.4.4.2 إزاحة (إرتجال) نقطة الإنعكاس Displacement of Reflection Point:

تتجمع نقط العمق العامة ((Commen Depth Point (CDP)) لأحداث الإنعكاسات عند نقطة المراقبة تبعا لتكرار ثنائى لطريق فترة الزمن بين نقط الإنعكاس ومستقبل المصدر عامة مكانها مع موازنة الصفر (إزاحة الصفر). ولذلك تظهر قطع مستويات الإنعكاس رأسية أسفل نقطة الملاحظة (مثال لذلك قطعة أ أسفل النقطة o شكل (2-75) ،وهذا يحدث عندما يكون مستوى الإنكسار أفقيا. أما فى حالة الطبقات المائلة فإن تنقيط قطع الإنعكاس رأسيا أسفل المكان العام لمستقبل المصدر ينتج تشتت فى تخريط الإنعكاس كما فى شكل (2-94)، وتظهر قطع الإنعكاسات فى منطقة الميل الشديد على قطاع الزمن إعتباريا مزاحة من مكانها الحقيقى. وليس من السهولة تفسير نتائج قطاع الزمن فى هذه الحالة ويكون الإرتحال (الإزاحة) عملية بواسطتها يزال تأثير هذا الميل والمنحنى للعاكس.

إذا كانت السرعة دالة للعمق فيمكن إزاحة الإنعكاس بواسطة طريقة غلاف مقدمة الموجه ويكون الإنعكاس المائل عمودى على أشعة الإنعكاس فى نموذج الموقع العام للمصدر والمستقبل. ويحدد العاكس بواسطة سطح مماس (غلاف عام) لجميع مقدمات الموجه المرسومة لجميع الأشعة السيزمية الساقطة (شكل 2-95). وبواسطة إستخدام نتائج السرعة يمكن إنشاء مقدمة منحنيات مقدمة الموجه من زمن إنعكاس طريقى الموجه (طريق السقوط.وطريق الإنعكاس). وسطح المماسات العامة لمقدمات هذه الموجات يعطى موضع الإزاحة الحقيقية للإنعكاس. ويمكن تنفيذ الطرق المختلفة للعمليات المكافئة بواسطة طرق رياضية متقنة (مثلا معادلة الموجه أو بواسطة تطور فرق الإزاحة الدقيقة بواسطة (كليربوت Clearbout, 1971) التى تستخدم حديثا بواسطة أغلب نتائج عمليات المقاولين. والشرح المنتقد للطرق المختلفة للإزاحة ممكن إيجادها فى البحث المرجعى (هود Hood 1981).



شكل (2-94): انعكاسات من طيه مقعرة ضيقة وتبدأ الإشعاعات من أماكن المصدر (1-10) وتنعكس لأعلى ثلاثة أنواع من النقط (جميعها عند حائط عمودية على عاكس مقعر. عدم التشابه لنتيجة قطاع الزمن تؤكد الاحتياج لإزاحة قطع الانعكاس (بعد ميكلون وآخرين McQuillin et al., 1979)

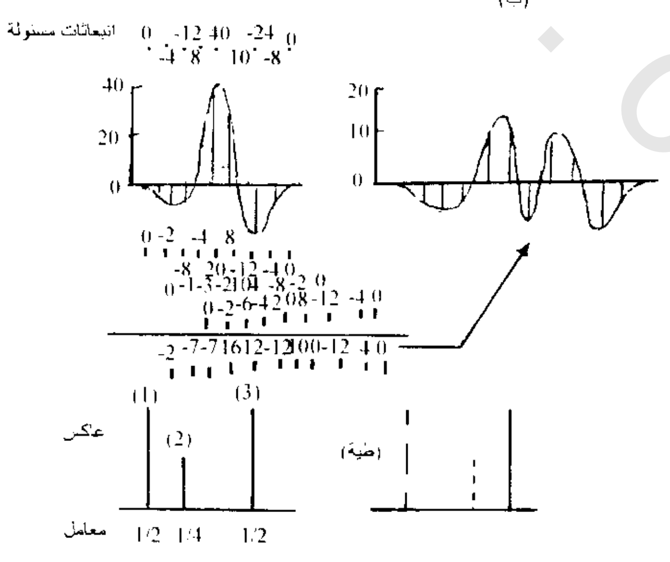


شكل (2-95): أساس طريقة إزاحة على مقدمة موجه عامة مغطاة (بعد السعيد Al-Said 1982)

7.2.4.4.2 اللف والنموذج السيزموجرافى Convolution and Synthetic Seismogram:

ينشأ الإنعكاس السيزمى من التغير فى الممانعة الصوتية للأرض. إذا عرف معامل الإنعكاس $\frac{V_2\rho_2 - V_1\rho_1}{V_2\rho_2 + V_1\rho_1}$ (حيث ρ= الكثافة) عند كل حد فاصل فيمكن بذلك حساب سعة نبضة الإنعكاس، وإذا أمكن جمع النبضات المختلفة فى علاقة زمنية صحيحة (مضبوطة) فإنه يمكن عمل نموذج لتسجيل سيزموجرافى. إذا كان معامل الانعكاس موجب، فتنعكس النبضة التصادمية باتساع كضغط تخلخل، بينما إذا كان معامل الانعكاس سالب فتسبب ضغط لينعكس كتخلخل والعكس بالعكس. وأكثر من هذا ففى حالة أخرى تقل إزاحة النبضة فى اتجاه تناسبى لمعامل الانعكاس.

يوضح شكل (2-96أ) تأخر موجى ممثلا لإضطراب أرضى عند السطح وذلك عندما تنعكس النبضة من الحد الفاصل بمعدل إنعكاس نموذجى ويصل للسطح. ويكون هذا المعدل الإنعكاسى كافيا ضبطيا لفرضنا لوصف التأخر الموجى بواسطة سلسلة من المسافات الموحدة المنتظمة 0 ,-4 ,-12 ,-8, 40, 16, -24, -8, 0 فى وحدات مختارة. الإنعكاس من الحد الفاصل (1) له معامل إنعكاس 0.5، وسوف تنتج نصف نبضة كلما زاد الاضطراب (بفرض أن الأرض تكون وسط خطى وتتجه النبضة ليس لأكثر من تغير شكلى فى وصولها للسطح).



شكل (2-96): أ ، ب) تراكب وطى

يرجع الإضطراب الأرضى للإنعكاس من حد فاصل آخر (2)، نصف وحدته الزمنية "عمق" من الحد الفاصل (1) بمقدار V/2 وهى وحدات عمق تبعد عن 1 والتى تبدأ بوحدة واحدة مؤخرا (حيث أن نبضة ركر Ricker pulse المتجهه من وإلى الحد الفاصل 2 فى تكوين إنعكاس فيها). بفرض أن معامل الإنعكاس للحد الفاصل 2 هو 0.25، عندئذ فإن مجموعة من الترتيبات 0 ,-1 ,-3 ,-2 ,10 ,4 ,-6 ,-2 ,0 تزاح بمقدار وحدة زمنية فى علاقة مع المجموعة الأولى 0 ,-2 ,60 ,Ö وتكون حركة الأرض راجعة لهذا الإنعكاس. بالمثل العاكس الثالث أعمق بوحدة زمنية أكثر من الحد الفاصل 2، وبفرض أن له معامل إنعكاس 0.5 فسينتج وحدتين زمنيتين لإزاحة مضطربة. بإضافة التطبيقات الهندسية فسوف نحصل بذلك على محصلة الإضطرابات والتى تمثل بواسطة النبضة فى شكل (2-96ب) بعينة تنظيمات 0 ,-2 ,-7 ,7 ,16 ,12 ,-12 ,10 ,6 ,-12 ,-4 ,0 (أو بتعبير أكثر دقة بواسطة سلسلة تنظيمات والتى يمكن إستخدامها لإعادة تركيب التقريب الأولى لشكل النبضة).

نفس النتائج يمكن الحصول عليها إذا طويت بدلا من التراكب وذلك إذا إستخدمت الطريقة الآتية: أذا طويت سلسلة معاملات الإنعكاس (1) ,(2) ,(3) راجعة على نفسها. وتزاح سالفا فى خطوات منقطعة مرة لوحدة زمن عبر سلسلة 0 ,-4 ,-12 ,Öإلخ ثم تضرب كل من ثلاثة معاملات الإنعكاس لكل مكان من السلسلة الموجودة مباشرة أعلى هذه المعاملات بواسطة نبضة نظام، وبعد ذلك تضاف الثلاث نتائج معا وبذلك نحصل مرة ثانية على سلسلة 0 ,-2 ,-7 ,Ö وتعرف هذه الطريقة بالطى ونتائجها مضبوطة كما فى التراكب.

ويكون الشكل النهائى للتسجيل السيزمى متأثرا بمضاعفات إنعكاسية، شوشرة، وتغير النبضات فى تحولها. ولكن، كخلاصة يكون التسجيل عبارة عن لف قاعدة تأخر موجى ركر Ricker مع لوغرتمات طول السلسلة لكل متغيرات معاملات الإنعكاس فى الأرض. إذا عرف اللوغاريتمات فيمكن إنشاء نموذج سيزموجرافى بواسطة لف اللوغرتمات مع النبضة الأساسية. ويكون هذا النموذج السيزمى مضبوط تصويريا تبعا لتجنب شوشرة التسجيل الحقلى. ربما، يكون مثل هذا التصوير Duplicate أكثر أهمية أكاديميا ولكنه إحدى الحقائق. وتجهز النماذج السيزمية لتقدم أساس إمكانية دراسة التغير فى التسجيل السيزمى الناتج من تغير الخواص المفروضه للأرض. هذه الدراسة بدورها تكون قادرة على تفسير لتعريف تفاصيل القطاعات الجيولوجية. واكثر من هذا يمكن حساب النماذج السيزمية لوجهات نظر أخرى أكثر من الأماكن الحقيقية للجيوفونات. سوف تشير مثل هذه الحسابات لأى ميزة والتى تحدث من إضافة تسجيلات أخرى فى المنطقة. وفى هذه الحالة يجب الإنتباه للتغيرات فى التسجيلات المضافة.

8.2.4.4.2 إعادة الطى Decovolution:

يوضح شكل (2-96) أن تأثير طى النبضات السيزمية مع لوغرتمات معامل الإنعكاس هو مد أو تعريض النبضة، والهدف العكسى للتفسير السيزمى هو مايسمى بالكشف اللوغرتماتى الأصلى بواسطة إعادة طى (أو ضغط) للتسجيل السيزمى وتسمى الطريقة أيضا بعكس الترشيح.

إذا كانت s، p، ℓ تشير للتسجيل السيزمى، والنبضة الأساسية ولوغريتمات الإنعكاس كدالة للزمن، فيعبر عن الطى رمزيا بواسطة المعادلة

$$S = P * \ell \qquad (2\text{-}64)$$

مع الإشارة إلى أن S ,P ,ℓ هى المقابل لتحويلات فورير Fourier. والجانب الأيمن يكون المضاعفات الترتيبية ويمكن التعبير عن P, S بعدادات الحدود فى تغيرات عامة، وأيضا يمكن الحصول على ℓ (كعدد حدود) بواسطة قسمة S/P. ويستخدم الحاسب الآلى لضبط حساب التحويلات وكذلك لقسمة الحدود، وتعطى اللوغرتمات المطلوبة بواسطة عكس تحويلات فورير لـ S/P، وتكون الصورة العامة

$$L = F S \qquad (2\text{-}65)$$

حيث F معامل الترشيح، والشكل الملائم لـ F هو Cot(Wt/2)sin(mwt) إذا كانت f هى عكس تحويلات فورير لـ F، فإن اللوغرتمات يمكن الحصول عليها بواسطة طى F مع S

$$\ell = f * S \qquad (2\text{-}66)$$

وعمليا، فإن إعادة الطى تشمل ثلاثة مراحل أساسية:

1.8.2.4.4.2 حساب معادلة الإرتباط الذاتى autocorrelation function (ACF) لقطاع ملائم من التسجيل:

وهذه تقيم من التكامل الآتى:

$$(1/2T) = \int_{-T}^{T} S(t)\, S(t+\tau)dt \qquad (2\text{-}67)$$

لقيم مختلفة من T. هذه الطريقة الحسابية تمثل إستخراج الطى حيث انزلاق الأثر يكون مثل الأثر الثابت. ويكون "القطاع الملائم" هو تراكب عشوائى لعناصر نبضية كثيرة كل منها معتدل بالقرب من بعض متوسطات شكلية وتشير T لطول القطاع (بالثوانى).

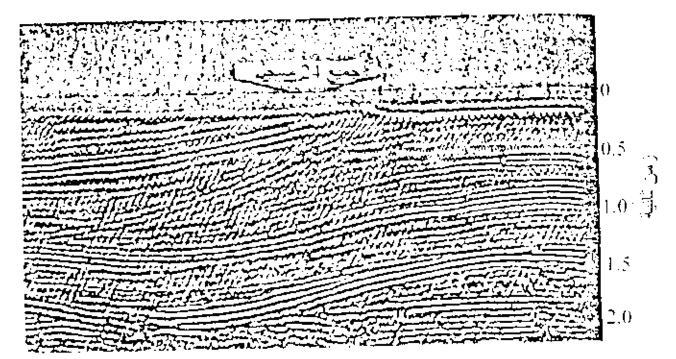
2.8.2.4.4.2 إختيار f:

يتطلب هذا، فى المقام الأول، تعيين المرشح المطلوب (F). نتيجة لذلك فإن F تتأثر بطيف فورير Fourier للجزء المتوسط من (ACF). عندئذ يتطلب حساب (ACF) من المرحلة (1) لتحديد F وبعد ذلك يمكن الحصول على F كعكس تحويل فورير Fourier.

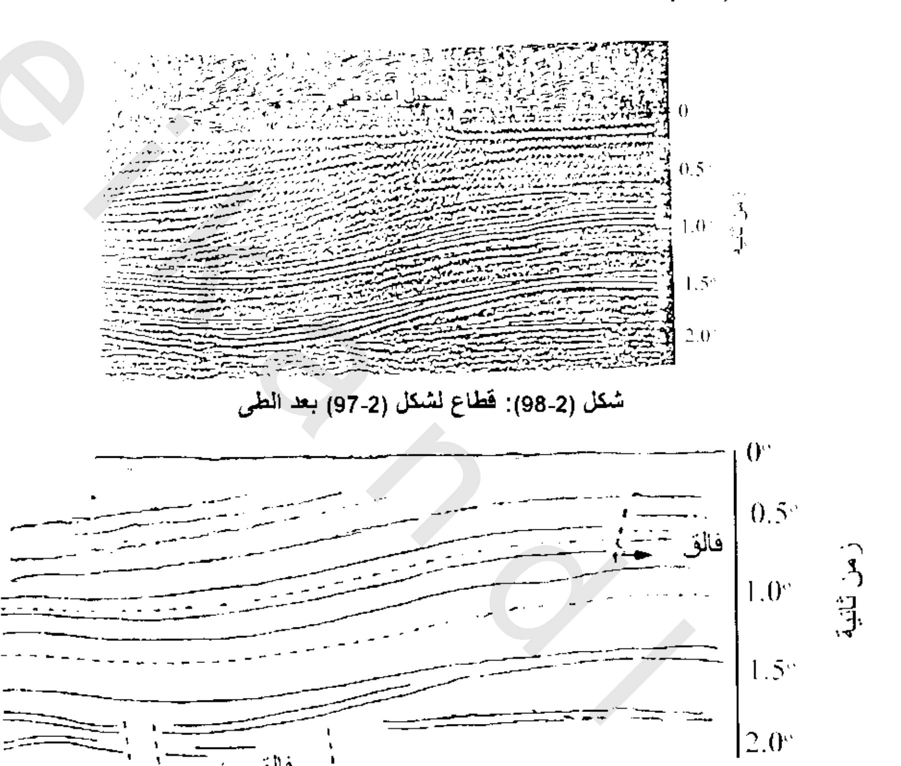
3.8.2.4.4.2 تطبيق المعادلة L= f * S

فى هذه المرحلة تختار f(t) لتعطى S(t) النتائج النهائية للوغارتمات المراده. ويحصل على اللوغارتمات كمعادلة للزمن ولكن تتحول كوحدة للعمق، بواسطة فروض ملائمة حول متوسط السرعة $\overline{V}$.

ويرى أن عملية إعادة الطى الكلى تكون مناسبة عمليا بالحاسب الآلى عالى السرعة، والذى يستخدم روتينيا فى عمليات تفسير نتائج السيزمية الإنعكاسية. ويوضح شكل (2-99) قطاع جيولوجى لشكل (2-97 ,2-98) بعد عملية إعادة الطى، وفيه يظهر الإنعكاس الأن أكثر وضوحا بسبب ضغط النبضات. أحيانا لايؤدى إعادة الى لوضوع التفسير، وذلك بسبب عكس المرشح الذى يؤثر عكسيا على شوشرة التذبذب (مضاعفة إشارات الإنعكاس وربما تكبرها.



شكل (2-97): عرض لمقارنة تسجيلات VAR من مجموعة جيوفونات متتابعة

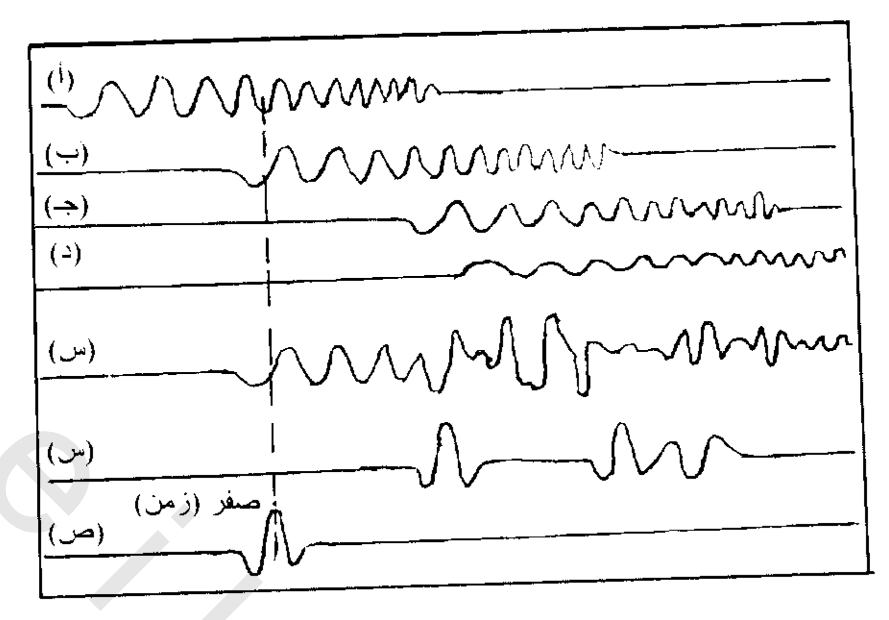


شكل (2-98): قطاع لشكل (2-97) بعد الطى

شكل (2-99): تفسير جيولوجى لشكلى (2-97 ,2-98)

9.2.4.4.2 ذبذبات (إهتزازات) Vibroseis:

هذا نظام بديع (حاذق) للإستكشاف السيزمى (مسجل لشركة بترول كونتيننتال (Continental Oil Company) حيث تستخدم الإهتزازات بدلا من مصدر النبضات، ومن المعروف أن دفع النبضات تنتج نطاق محدد من الترددات فى الأرض. تستخدم الإشارة فى نظام الإهتزاز لإنتاج نطاق يكون تردد خطى ذات شكل ممتد (شكل 2-100أ). فى تقنية الردار، تسمى مثل هذه الإشارات (زقزقات îChirpsî) أو بنضات متضاغطة ويكون التردد النموذجى من 15-90 دورة/ثانية (C/S) فى حوالى 7 ثوان. وتنتج الإشارة بواسطة مذبذب هيدروليكى أو الكترومغناطيسى قادر على توليد دفع كلى لعدة أطنان على الأرض من مصدر النبضات، تدخل النبضة السيزمية على كل إشارة إهتزازية تبعا لمعادلة الربط الذاتى. ويوضح شكل (2-100ص) مركز النبضة التى حصل عليها تبعا لفترة الزمن لطرق الطيات.



شكل (2-100): أ، ب، جـ، د، س، س، ص) أساس ذبذبى

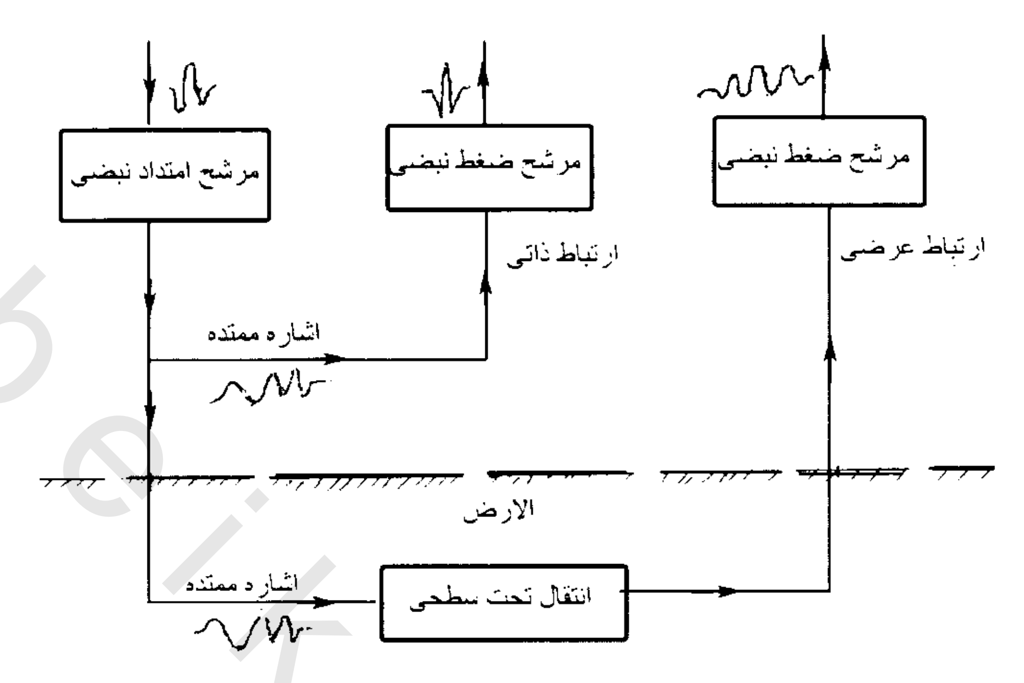
تكون الإشارة المردودة من كل عاكس فى الأرض مماثلة لتردد الإشارة الممتدة. ويرى شكل (2-101ب، جـ، د) ثلاثة أمثلة لهذه الإشارات، وتضاف إشارة التسجيل (2-100د) لأعلى.

ولإكتشاف النبضات المنعكسة فإن الإشارة الكلية ترتبط عرضيا مع الإشارة الداخلة. حسابيا، هذه الطريقة تكون مثل الطيه ماعدا أن أثر الإرتباط العرضى لايكون مطويا ولكن ينزلق مباشرة قبل الأثر المرجعى لهذا المكان. ويكون لكل مكان ترتيب مضاعف على أثر التسجيل ومجموع عليه. يؤدى هذا الشكل (2-100س) والذى يمثل أثر سيزمى مطوى فقط.

نظريا فإن نظام الإهتزاز يكافئ بحث الطى السيزمى ولكن يختلف عنه فى طرق إكتشاف المعلومة السيزمية. ربما لأن له عدة عمليات ومميزات عملية. **أولا**، لأن حلوله آمنة وملائمة أكثر من إستخدام التفجيرات. **ثانيا**، يمكن أن يكون معدل الإمتداد والترددات أفضل إختيار لمجالات جيولوجية ملائمة فى مناطق معينة حيث أن القوة لاتبدد فى توليد ترددات لاتنقلها الأرض. فى النهاية فإن الطاقة المحقونة فى الأرض ربما تزيد غالبا بدون حد معين بواسطة إزدواجيتها مع بعضها ككثير من المهتزات التى يراد أن يكون عملها فى طور من مهتز رئيسى. ويوضح شكل (2-100هـ) شكل كامل لهذا النظام.

10.2.4.4.2 تفسير نتائج الإنعكاس Interpretation of Reflection Data:

برغم أنها ظاهريا بسيطة بإستخدام القواعد الأساسية، فإن تحليل وتفسير نتائج الإنعكاس يتطلب مهارة جيدة. علاوة على ذلك فلابد من التدقيق فى إختيار الإنعكاسات من السيزموجرام. وتوجد عوامل أخرى تعقد التفسير كالتى تحدث من تسجيل أبار السرعة CV-logs، حيث يحدث التغير اللوثولوجي بتكرار، وكذلك يوجد إنعكاسات كثيرة خلال تكوين واحد، وذلك لوجود عدد إما قليل أو كثير من معاملات إنعكاس. ويضاف التغير النسبى لإنعكاسات صغيرة إلى شوشرة المرجع، حيث يحدث هذا لعدم واسطة عشوائية كلية. بالإضافة لذلك، فإن عدم



شكل (2-100هـ): نظام شكل هيكلى للذبذبات

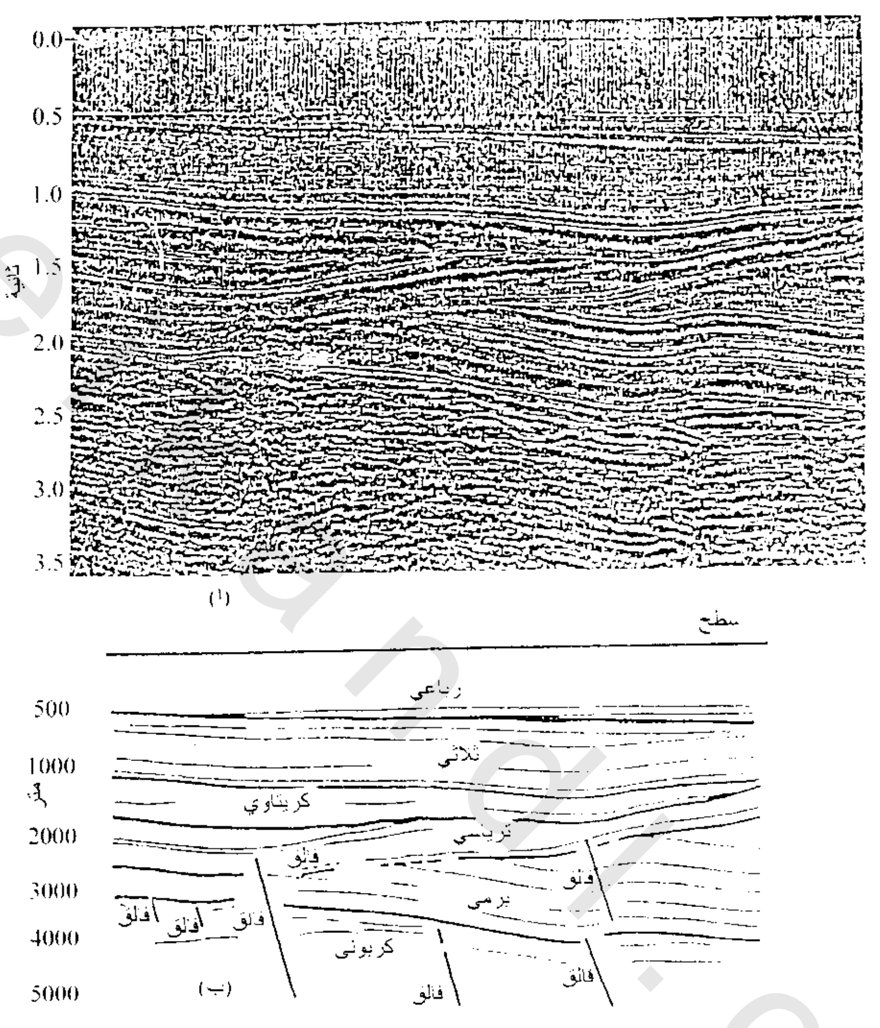
الإنتظام التحت سطحى (حافات حادة، ظواهر متآكلة مدفونة، إلخ) للإنعكاسات ربما تسبب تشتت للموجات والتى أحيانا تغطى على أحداث الإنعكاس.وأكثر من هذا، لايمكن إيجاد تضاعفات إنعكاسية غير عادية كما فى شكل (2-101). هذه النبضات لها إحتمالات إضافية لواحد أو أكثر من الإنعكاسات إما من سطح الأرض أو من فاصل أسفل. عندما تعرف وتحدد تضاعفات الإنعكاسات يمكن إضافتها إلى التفسير، خلافا لذلك فإنها تعقد التفسير بواسطة إنتاج طبقات عاكسة كاذبة. ربما يكون النموذج السيزموجرافى نافع فى تميز الإنعكاسات الأولية من تضاعفات الإنعكاس والأطياف، وفى مقارنة أحداث الإنعكاسات لطبقة جيولوجية معينة.

تتكون طرق التفسير من إختيار إنعكاسات من السيزموجرام ومقارنتها بواسطة تقارب (تجاور أو إتصال) السيزموجرامات من تتابع جيوفونات للتفجيرات المقامة. التفسير الأولى التقريبى يكون ذات أهمية فقط للظواهر الكبيرة، ولهذا السبب فإن قطاعات المناطق المتغيرة تخدم عرض مناسب.

ولتفسير واضح فإن قطاعات زمن الإنعكاس تحول لقطاعات أعماق. وكما وضح سابقا، فإن قطاعات عدم إزاحة تعطى صورة مشوشرة للتركيب تحت سطحى، ويزداد التشويش بقيمة العمق. لذلك، كقاعدة، يلزم إزاحة القطاع الزمنى قبل تحويله لقطاع عمق. وعمليا، تتم هذه العملية بواسطة الحاسبات الآلية بإستخدام تقنية دقيقة. شكل (2-101ب) يوضح مثال إزاحة قطاع مع تفسيره الجيولوجى.

تقنية إكتشاف الهيدوكربونات موضوعة على أساس أن الرمل المشبع بالغاز له سرعة أوليه منخفضة عن الرمل المجاور المشبع بالماء أوالزيت. وهذه تنتج علاقة مميزة فى الممانعة الصوتية عبر سطح أعلى أوأسفل نطاق الغاز والتى تعطى إنعكاسات ذات سعة كبيرة أكثر من الملاحظة من نفس الحد الفاصل على كلا جانبى نطاق الغاز. تقنية العمليات الحديثة تجعل من الممكن ملاحظة سعة الإنعكاسات الكبيرة مباشرة على القطاع

السيزمى من البقع اللامعة (الجليد). وفى النهاية فإن الإشارات القليلة تكون ملائمة لتفسير نتائج الإنعكاس عمليا، فإن نبضات الإنعكاس لها طيف ترددى عادة فى معدل 15-75 هرتز، ومعدل السرعة فى القطاعات الرسوبية تقريبا ما يكون بين 2000-4000 م/ث.



شكل (2-101): أ) مساحة قطاع زمنى متغير منتج بواسطة تقارب 16 تسجيل إنعكاس. بعد كل نقطة تفجير عن الجيوفون (مسجل) 2400 متر. ممكن قراءة أزمنة الإنعكاسات على التدرج الرأسى (ثانية). ب) إزاحة القطاع (العمق) تبعا لقطاع الزمن (p) وتفسيره الجيولوجى (أنستى Anstey 1970

مثلا، إذا أخذت قيم نموذجية 30 هرتز للتردد 3000 م/ث للسرعة، يكون الطول الموجى تبعا لذلك يساوى 100 م. وهذا يعنى أن للعاكس طول موجى حوالى 100م. لذلك يتضح أن نبضات الطول الموجى الطويل لايمكن توقع حل بها لتغير أقل من 100م وهكذا، ولهذا فإن الفوالق الصغيرة، الظواهر المتآكلة المدفونة والظواهر الاستراتجرافية عامة ليس من السهل تحديدها (الإشارة إليها) بواسطة تقنية الإنعكاس. وحقيقة أخرى هى أن المعلومات عن معدل متوسط السرعة للتكوينات فى منطقة الدراسة تكون عظيمة الأهمية فى التفسير الإنعكاسى. وعندما تكون هذه السرعة نادرة، فإن تحويل العمق من الزمن يكون خطر والتفسيرات تكون خاطئة.

1.10.2.4.4.2 إستنتاج التركيبات الجيولوجية الحاملة للبترول من طريقة الإنعكاس السيزمى

Deduce Structure Geology which Contain Oil from Seismic Reflection

من أكثر أهداف طريقة الإنعكاس هو البحث عن المصايد البترولية مثل الطيات المحدبة والفوالق والتركيبات الناشئة من تداخلات القباب الملحية وتداخلات أخرى يمكن استنتاجها أيضا من الخرائط.

2.10.2.4.4.2 الطيات المحدبة Anticline:

يمكن إستنتاج هذه الطيات من معطيات الإنعكاس ذات النوعية الجيدة وذلك عندما يكون الإنفلاق الخطى للخطوط السيزمية أكبر من عدم الإنتظام الزائف فى تركيب ظاهرى ناتج من تغير السرعة الجانبية. وعادة ما تكون الطيه المحدبة المكونة لمصيدة بترولية ناتجة من قوى تكتونية أو بسبب الدفع لأعلى لقباب ملحية أو ظواهر أخرى دافعة لأعلى ويوضح شكل (2-102أ) نوعا من الطيات المحدبة من قطاع تسجيل مهاجر*، أما شكل (2-102ب) غير المهاجر يعطى صورة ليست ذات معنى.

3.10.2.4.4.2 الفوالق Faults:

بسبب الدور الذى تلعبه الفوالق غالبا فى إحتجاز الهيدوكربونات فإن الأساليب الفنية لإيجادها ورسمها على الخرائط لها أهمية عملية كبيرة. وتوضح الدلائل الرئيسية الآتية التصدع على مقاطع الإنعكاس:

- i- عدم إستمرارية الإنعكاس على طول نموذج خط رئيسى.
- ii- عدم الإنغلاق (الأقفال) فى ربط الإنعكاسات حول دوائر حلقية.
- iii- إتساعات (إنفراجات) فى الميل غير متعلق بالطباقية.
- iv- وجود حيود فى الخطوط السيزمية خاصة لتلك التى له قيم تتمشى بطريقة مطابقة للتصدع الموضعى.
- v- تشوه أو إختفاء إنعكاسات أسفل خطوط فالق.

ويؤخذ فى الإعتبار الآتى:

i) عندما يلاحظ على قطاعات التسجيل عدم إستمرارية محددة تماما فإن هذا يدل على وضوح جيد لموضوع رسم فالق. شكل (2-103) يوضح نظامين لفوالق عادية، تميل مجموعة فيها لليمين وأخرى لليسار. وظهرت الرميات بوضوح فى الشكل بواسطة إزاحة للانعكاسات والتى وصلت لحوالى 500 قدم. ويرجع التصدع لإرتفاع كتلة ملحية (غير مرئية على المقطع). بالإضافة لهبوط تكوينات فى إتجاه مركز الحوض الرسوبى. ويرجع وضوح هذا الرصد لإستخدام الحاسبات الآلية لمعالجة البيانات الولية للتشويش المستبعد والذى كان من الممكن أن يحجب دلائل الفالق الأقل وضوحا.

ii) وعن الظواهر الهامة فى إكتشاف ورسم خرائط فوالق الدفع يعتمد على إنفراج الإنعكاسات فضلا عن تكرار انعكاسات أعلى* وأسفل** مستوى الدفع. ويوضح هذا شكل (2-104) إنه من الممكن تميز التصدع من أنفراج

---

* إزاحة لحساب الكشافات

* allochthonous تشير لتكوينات أعلى فالق دفع زائد.

** autochthonous تشير لتكوينات أسفل مستوى الفالق.

الإنعكاسات أسفل مستوى الفالق أو من أضطرابات إنعكاسية أسفل الفالق المشكوك فيه والتى تبدو وكأنها تمر من خلاله. وقد أوضح كوارايس Quarles 1956 كيفية تعين فوالق فى ساحل الخليج بواسطة انفراجات فى الميل الظاهرى لعواكس سفلية. كذلك بين لوبشار Loubsher 1956 القيمة الوصفية المميزة لتشوه وتدهور إنعكاسات من أسفل فالق.

(iii) ومن طرق رسم سطوح التصدع مجموعة نماذج للحيود التى تنشأ من حواف الطبقات الممزقة بالتصدع. حيث تعمل الحافة كنقطة مصدر لإعادة طاقة سيزمية بواسطة الحيود. ويكون النموذج الناتج متقن الشكل مثل الرسم لسطح له أكبر تحدب. وتبين قمم نماذج موضع حافة الحيود على القطاع. ويوضح شكل (2-105) حيودات لها قمم تبين طريقة تدعم وجود إتجاهات الفالق، وذلك بواسطة زحزحة فى الإنعكاسات.

وفى هذه الطريقة، ليس من الضرورى أن تكون نماذج الحيود كاملة التكون، فأحيانا تكون أجزاء كسرية من النموذج ملائم لمنحنى مناسب له أكبر تحدب على أساس السرعة المعروفة لمنطقة العمل. وفى هذه الحالة يمكن إستعمال هذا المنحنى لإسقاط موضع القمم حتى لو لم تكن ظاهرة على القطاع.

4.10.2.3.4.2 القباب المحلية وتركيبات احتراقية أخرى

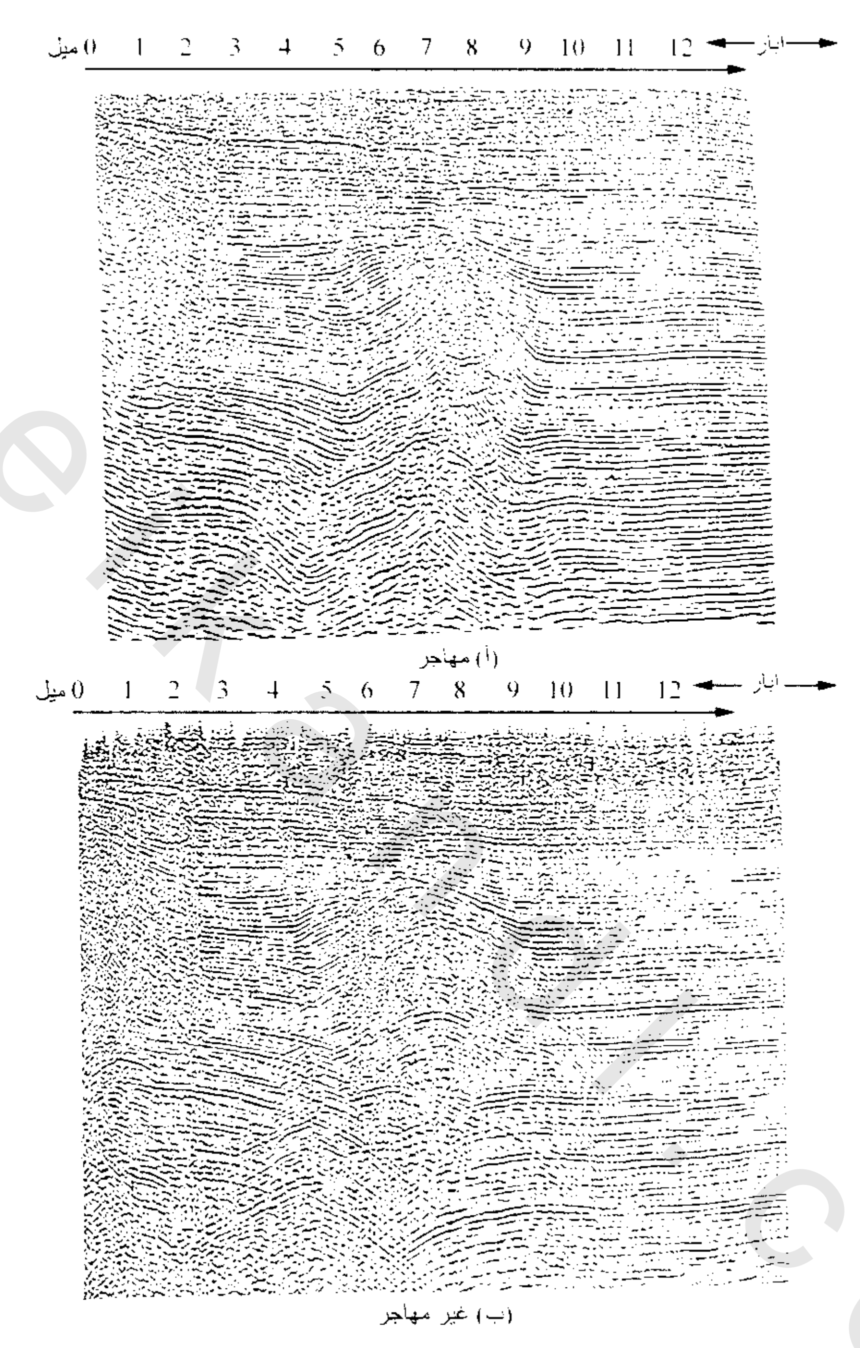
Salt Domes and Other Diapirs:

يبين شكل (2-106) القباب الملحية بوضوح تام على قطاعات إنعكاس.

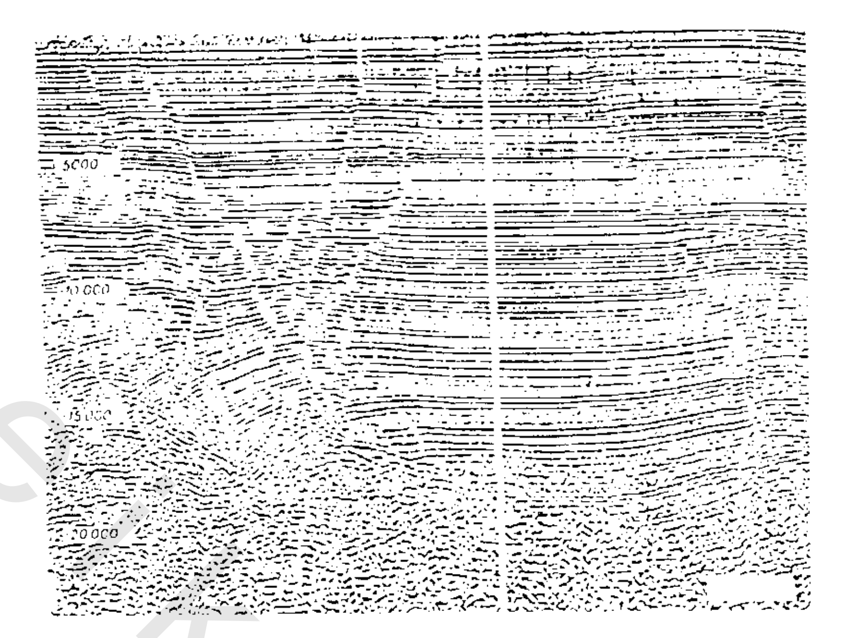
ومن الشكل يتضح إطار طيه مقعرة مشكلة حول القبه وتظهر بكل وضوح على الجانب الأيسر. كذلك تبين التكوينات إرتفاعا على كل جانب من الشكل مشيرة لظواهر ملحية أخرى فى كلا الإتجاهين. ومن النادر أن يعطى السطح الملحى نفسه. إنعكاس واضح التحديد. لذلك فإن تشوه التكوينات العاكسة فوق القبه وعلى جانبها بالإضافة لعدم وجود إنعكاسات من القبة الملحية نفسها يسمح على الأقل بتخطيط تقريبى لسطحها. وبسبب الميل الحاد للطبقات المجاورة من القبه الملحية فإن إنعكاسات هذه الطبقات تمكن من زيادة دقة رسم الجوانب. وغالبا ما يكون صعود البنيات الإختراقية الأخرى مثل السدادات النارية لها مظهر قطاعات التسجيل تطابق الناتج من صعود القباب الملحية. وعلى العموم، فى مناطق الشواطئ المتدرجة من الأفضل إستخدام معلومات جاذبية ومغناطيسية للمساعدة لتعيين طبيعة البنية الإختراقية.

5.10.2.4.4.2 تركيب صخور القاعدة Basement Structure:

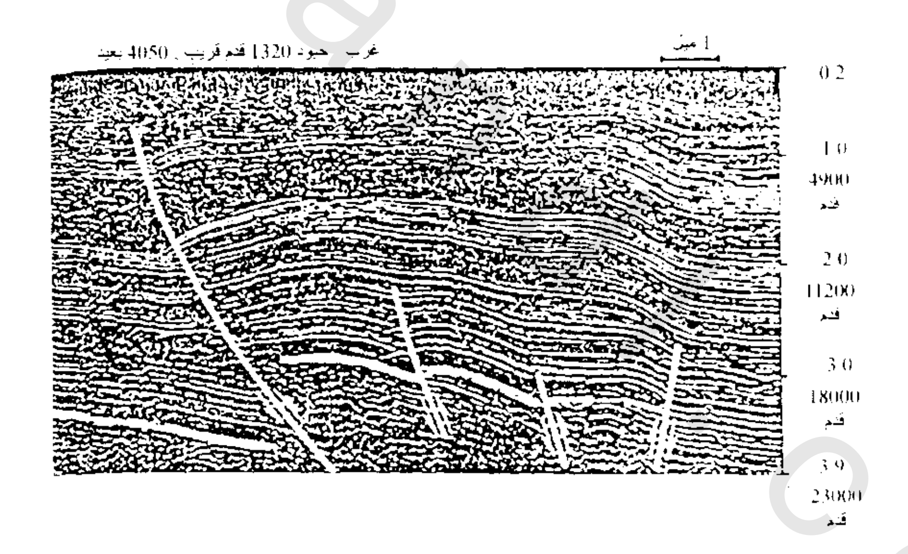
كان من الصعب تعيين سطح القاعدة من تسجيلات الإنعكاس وذلك بسبب الإنعكاسات المتعددة والتشويش الناشئ على الأجزاء العميقة للتسجيلات، إلى أن أصبح تسجيل نقطة العمق المشتركة والمعالجة الرقمية متاحة. لذلك فإن إزاحة التشويش والتعددات ربما يجعل سطح صخور القاعدة قابل للرصد وخاصة العميقة منها ويوضح شكل (2-107) هذا التأثير فى منطقة بحرية عميقة، حيث عدم وجود أحداث إنعكاسى أسفل هذا الغلاف يجعل التعيين أكثر احتمالا، حتى ولو لم يكن هناك حفر على طول الخط لتأكيدها.



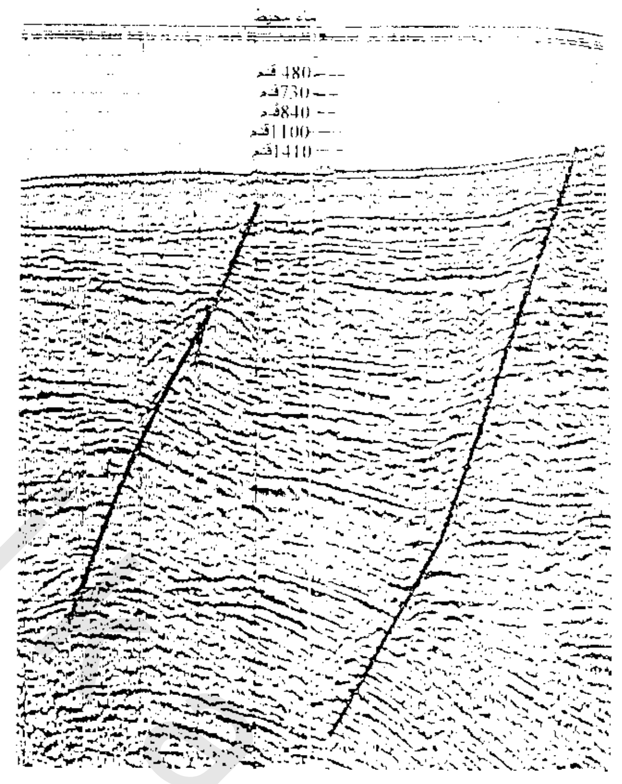
شكل (2-102): طيه محدبة بوادى سان جاكوين كاليفورنيا .San Joaquin Vally-Calf. أ) قطاع مهاجر بواسطة الحاسب، ب) مقطع غير مهاجر. طوت الهجرة نماذج الحيود العديدة التى أخفت التركيب الحقيقى



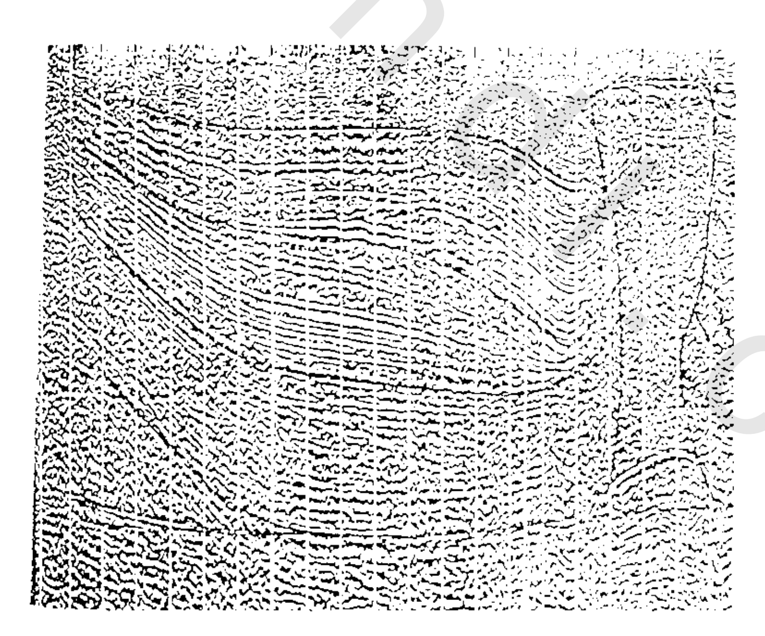
شكل (2-103): نموذج لفالق عادى فى خليج المسكيكو Gulf of Mexico حيث تظهر الفوالق مصاحبة لتركيبات ملحية عند أدنى اليمين واليسار



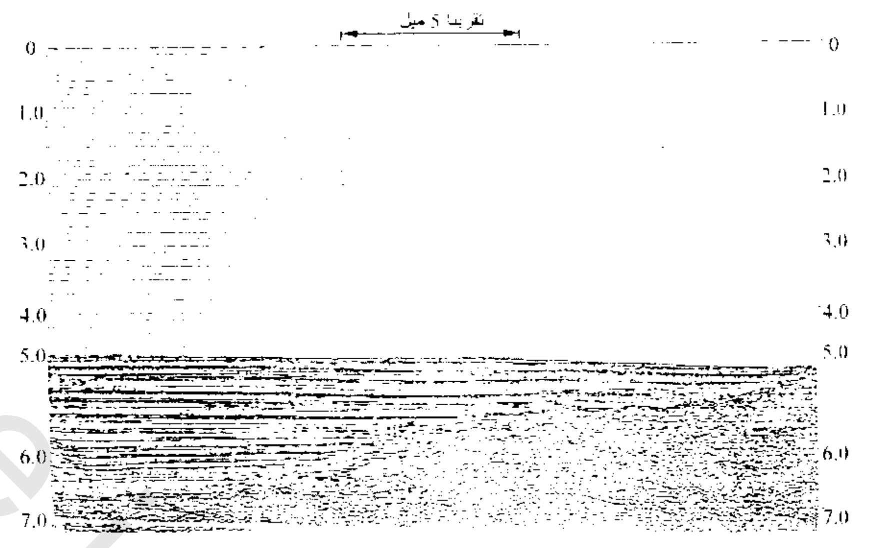
شكل (2-104): دفع زائد فى حوض نهر الرياح فى وايونج (Wind Rinver, Basin Wyoming) كما هو مبين فى القطاع مع مدى إزاحة ذى ترد منخفض (8-45 هرتز) خمس طيات



شكل (2-105): تتبع سطوح الفالق بمتابعة قمم نماذج الحيود



شكل (2-106): تشوه طبقات رسوبية بسبب قوى مصاحبة بطفو قبه ملحية. بعض التركيبات المبينة الموجودة أسفل القبة الملحية من النوع الثاقب والوسادات المحلية (مثل الوسادة العميقة على اليمين) ليست حقيقية ولكنها ناتجة من تأثيرات السرعة



شكل (2-107): تعيين سطح القاعدة من نماذج حيود على طول قطاع مسح إجتيازى فى مياه عميقة

11.2.4.4.2 شراك فى التفسير التركيبى Pitfalls in Structural Interpretation:

عادة لايجب النظر دائما لمعلومات الإنعكاس السيزمية عند تمثيلها على أنها قطاع جيولوجى عرضى لأنه قد يتشوه الشكل الهندسى الفعلى التحت سطحى فى إتجاهين:

i) التغيرات فى السرعة سواء كانت رأسية أو عرضية، تسبب فى أن يأخذ قطاع الزمن شكل مختلف عن المقطع الجيولوجى الفعلى المرسوم فى العمق.

ii) الإنحناء الهندسى لمسارات الأشعة بعيدا عن الرأس سوف يكون له نفس التأثير على عملية الإنتقال الموجى.

وعادة فإن القطاعات المرسومة بالعمق شكل (2-108 ,2-109) يتم فيها الإقلال من التشوه على قطاعات التسجيل التقليدية. لذلك من المهم أن يميز الجيوفيزيائيين الأخطاء التى يمكن أن تؤدى إليها هذه التشوهات فى التفسير السيزمى. ومن ضمن المشاكل الأخرى فى التفسير التركيبى استعمال معاملات مختارة خاطئة للمعالجة مثل تراكم سرعة غير صحيحة.

قام تيوكر ويورستون Tucker and Yorston 1973 باستعراض الأخطاء التى تسبب خطأ التفسير التركيبى. ومن هذه الأخطاء:

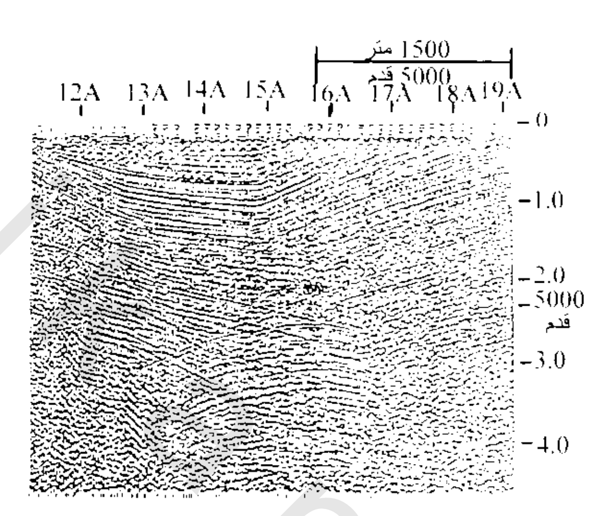
1.11.2.4.4.2 مساهمة السرعة Velocity Pitfalls:

بالنظر لشكل (2-106) يشاهد تراكيب غير حقيقية ناتجة من شاذات سرعة فى أجسام ملحية مغطاه. حيث يرصد إنعكاس شديد تحت القبه الملحية الكبيرة (حوالى 150 متر) عند النقطة الأقرب للسطح من الإنعكاسات المرتبطة على جانبى القبة. ومع ذلك لايوجد إرتفاع تركيبى حقيقى أسفل الملح. وهذا ناتج من أن السرعة فى العمود الملحى أعلى منها فى الصخور المحيطة ويعود إليها التركيب الظاهرى تحت الملح. والرصد الناقص

للإنعكاس بالقرب من الحافة اليمنى للشكل يعلل بوجود شاذة ملحية أعلاها مباشرة والتى يكون لها سرعة أقل من التكوين المحيط. وكثيرا ما يظهر هذا التفسير عندما يكون الملح عميقا بصورة غير عادية.

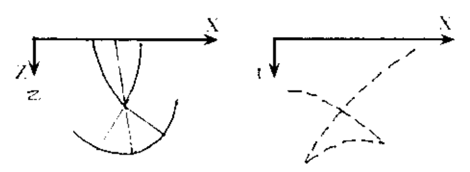
2.11.2.4.4.2 مساهمة الأشكال الهندسية Geometrical Pitfalls:

يوضح شكل (2-108) مساهمة هندسية وذلك عندما يعبر المقطع بالطيه المقعرة ذات إنحناء شديد، لدرجة تؤدى إلى تقاطع مسارات أشعة الإنعكاس مع بعضها فى طريقها من وإلى السطح.



شكل (2-108): تأثير تقوس مثلثى متقابل الرأس مقياس على طيه مقعرة حادة فى البحر الأدرياتى. الطيه المحدبة الظاهرة هى فى الواقع ظاهرة حيود

ويوضح شكل (2-109) الشكل الهندسى لمسار الأشعة المؤدى لتقوس مثلثى متقابل الرأس الذى يشاهد على المقدع عند أعماق تحت 2.05 كم. والإنعكاسان اللذان يميلان بشدة فى الإتجاهات المتقابلة هى إنعكاسات من جوانب مناظرة لتركيب الطبقة المقعرة التى تتقاطع مع بعضها فى طريقها للسطح، وتكون الظاهرة المقوسة السفلية حيودا من نقطة ما عند قاع الطيه المقعرة، ويكون أقصر زمن مقاس على أعمق نقطة الطيه المقعرة. وتؤدى الإزاحة (الهجرة) الأتوماتيكية المصممة بعناية إلى طى قوس الحيود الذى يشير لنقل الجوانب لمواقعها الحقيقية. ويمكن للجيوفيزانى والجيولوجى الخبيران من التعرف على الطبيعة الحقيقية للمصدر.



شكل (2-109): تأثير تقوس مثلثى متقابل الرأس. مسارات موجه ونموذج على مقطع تسجيل لإنعكاسات من طيه مقعرة مع إنحناء أكبر من ذلك لجبهات (مقدمات) موجه مقتربة

3.11.2.4.4.2 مساهمة المعالجة:

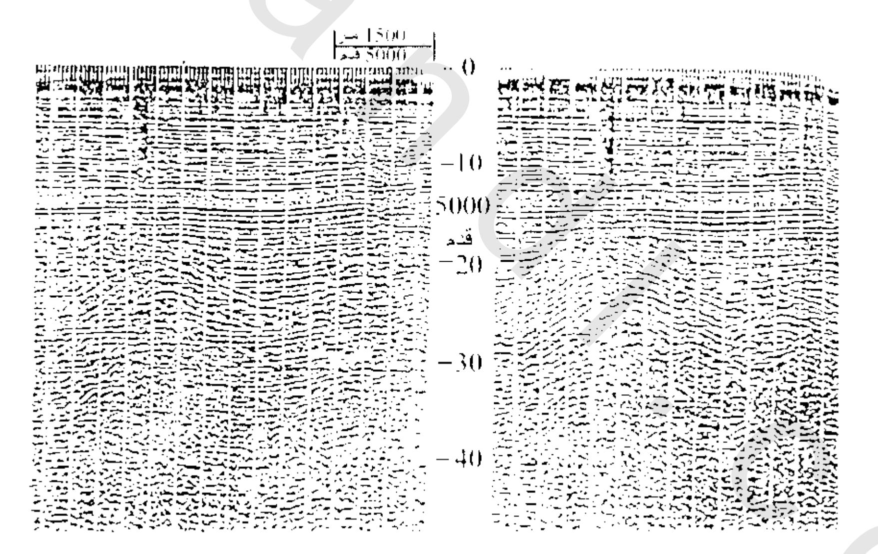
يوضح شكل (2-110) أسلوبين للمعالجة ويعطى فى نفس الوقت مثلا عن كيفية أن الإختيارات المختلفة لتراكم السرعة تودى لتفسيرات مختلفة بدرجة كبيرة جدا. فمن الشكل على اليسار يظهر التركيب الأعمق أحادى

الميل خفيف (قليل) التعرج، وعلى اليمين كأنه طيه محدبة مع الإشارة بتصدع على جانب واحد. مقارنة الميل الأعمق على المقطع الأيسر بالظواهر القريبة من السطح عند منتصف أزمنتهم تجعل الظواهر الأعمق تشابه التعددات. ومن هذه المطابقة فإن تراكم السرعة تشير لتركيب من نوع الطيه المحدبة وهى الإحتمال الصحيح.

12.2.4.4.2 إستخدام الزمن مقابل العمق فى رسم الخرائط التركيبية

Time Versus Depth in Structural Mapping:

عند تقييم الخرائط التركيبية والقطاعات في العمق تستخدم معلومات السرعة المستنتجة من علاقة الزمن والعمق. ومع إستخدام برامج الحسابات لتعيين السرعة تحليليا من تسجيلات الإنعكاس المنتظمة، فى هذه الحالة ليست هناك حاجة إلى مساحات الآبار على مسافات متجاورة لكى نحصل على معلومات وثيقة عن أعماق الإنعكاس. وأيضا، فى هذه الحالة، تعتمد الدقة على نوعية الإنعكاس والتى لاتكون جيدة دائما بالرغم من الأساليب المحسنة للمعلومات التى تعتمد على الحاسبات الآلية. وكذلك فإن السرعات المعينة بالحاسبات الآلية ترتكز على مسارات أشعة مائلة وعواكس منتظمة الميل، والتى عادة ما تختلف بسبب تباين الخواص الجيولوجية والسرعات الرأسية التى تستخدم لتحويلات الزمن-العمق. لذلك فإن العرض النهائى لنتائج أزمنة الإنعكاس يجب أن يكون فى صيغة ذات معنى جيولوجى وليست بوحدات الزمن وهذا يتم بالمعلومات الجيوفيزيائية المنسقة بعناية.



شكل (2-110): كلا التركيبين يمثلان سرعة تراكم مختلفة. وحيث أن الأحداث ذات الميل الخفيف على اليسار لها كل خواص الانعكاسات المتعددة ، لذلك فان التركيب على اليمين هو الأفضل

13.2.4.4.2 إستخدام الإنعكاس للدراسات الطباقية Reflection as a Tool for Stratigraphic Studies:

تنشأ مصائد البترول الطباقية من شعب، نتوءات أو ظواهر أخرى مصاحبة بتآكل، سحنات انتقالية، عدسات رملية مصحوبة بقنوات مدفونة، بحيرات أو مصادر مشابهة. ويبرز هذا التنوع الجيولوجى الكبير للمصائد مشكلة العثور عليها بطريقة سيزمية.

فى أغلب المصائد الطباقيه، يوجد إختلاف فى الخواص الصخرية ينحصر غالبا لمسافة أقصر بكثير من طول الموجه لدرجة أن تحليل الموجه يصبح مشكلة كبرى. وحيث أن التغير فى الطباقية ينتج تغير أو تدمير للموجه بتأثيرات التداخل لإشارات الإنعكاس المصاحبة للطبقات على أى جانب للنقطة التى تتغير عندها صفات التطابق، لذلك فإنه بالتحليل المحدود للنبضة السيزمية يمكن إكتشاف ظواهر طباقية غير الشعب.

14.2.4.4.2 إستخدام معلومات الإنعكاس لإعادة بناء التاريخ الترسيبى
Use of Reflection Data to Reconstruct Depositional History:

تستخدم طريقة الإنعكاس بطريقة غير مباشرة لإلقاء الضوء على البيئة المحيطة بالترسيب وتاريخ الترسيب فى المناطق التى يتم فيها الإستكشاف. وكثيرا ما يمكن دراسة السرعات-الفترات (الزمنية-الأعماق) عن ايضاح كيفية حدوث الترسيب فى المناطق تحت البحث، وبالتالى عن تعيين ظواهر صخرية ضخمة لإعادة بناء جيولوجى أكثر كمالا للبيئة المحيطة بالترسيب.

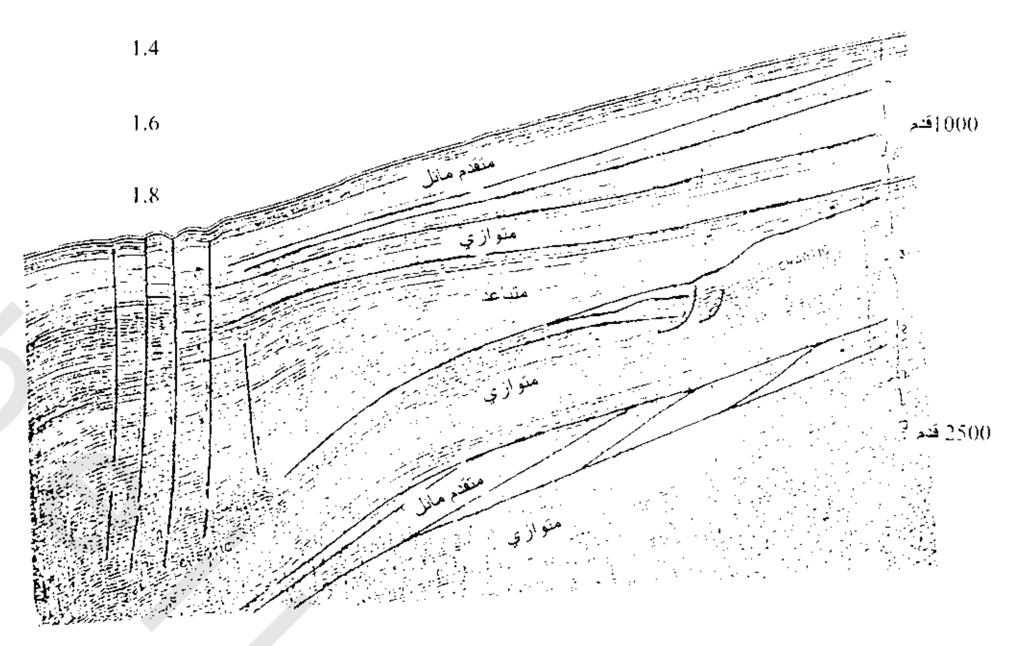
الحركات المتنوعة للترسيب والتى تشمل تقدم أو تقهقر البحار والمحيطات تقترن عادة بنماذج هندسية تبين أنواع الترسيب التى حدثت فى فترات مختلفة للتاريخ الجيولوجى. شكل (2-111) يوضح قطاعات سيزمية تمكن من إعادة بناء التاريخ الترسيبى، حيث تدل الطباقية المتوازية على الترسيب فى مياه عميقة على سطح ثابت. الحوض الصاعد المعلق (متقدم-مائل) عند الشاطئ يترك جزءا على شكل خابور يقل فى السمك فى إتجاه البحر، بينما الحوض الغاطس المعلق (متباعد) يقترن بجزء على هيئة خابور يتزايد فى السمك نحو البحر وتدل الأسهم بالشكل على هذه الحركات أثناء كل طور من أطوار الترسيب. وتدل نهاية الدورة على التسجيلات السيزمية على ترسيب متراكب فوقى ومتقدم كما هو الحال فى مراوح الدلتا. ويدل وجود تلامس غير متوافق على قطاع سيزمى على التاريخ الترسيبى والتآكلى لمنطقة الدراسة وكذلك على البيئة المحيطة الموجودة أثناء حدوث الحركات الجيولوجية وبذلك يمكن رسم عدم التوافق على خرائط من النموذج للإنعكاسات على قطاع سيزمى.

يوضح شكل (2-112) زوج من عدم التوافق مع تباعدات كبيرة فى التركيب عبر كل عدم إستمرارية. ويزداد تعقيد التاريخ الجيولوجى بكثرة الطيات والتصدعات فى جزء القطاع الواقع بين عدم التقدم. فى المناطق البحرية حيث لاتتوافر من الحفر الاستكشافى بيانات، فإن النماذج السيزمية، ربما توفر الأساس الوحيد لإعادة البناء الترسيبى فضلا عن التاريخ التكتونى.

15.2.4.4.2 تصنيف المصائد الطباقية Classification of Stratigraphic Traps:

تقع أغلب هذه المصائد ضمن أربعة فصائل:

1) شعب الحجر الجيرى.
2) عوائق نفاذية مقرونة بقطع تحتى.
3) أجسام رملية مثل العدسات أو قنوات تيار محاطة بمادة غير منفذة.
4) تغييرات السحنة من خواص منفذة إلى غير منفذة.



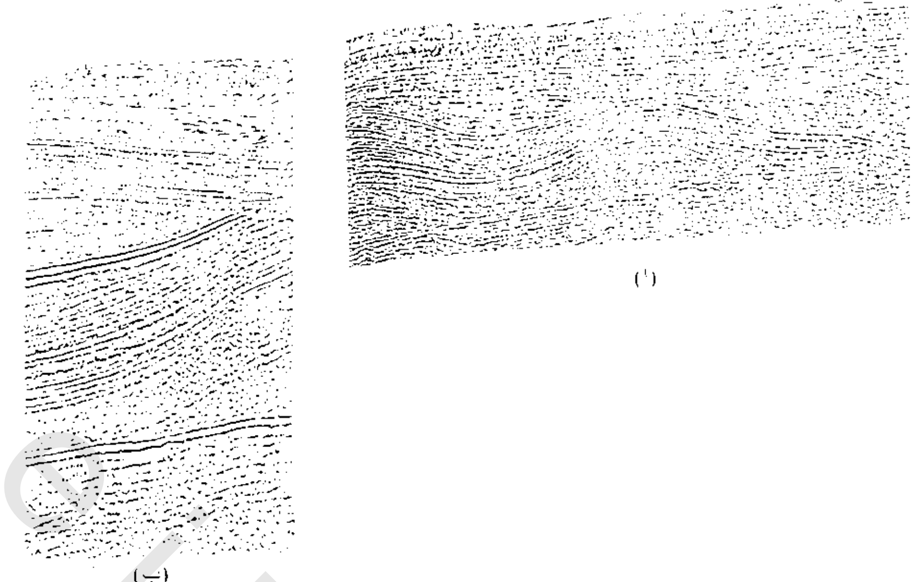
شكل (2-111): قطاع يوضح فترات متتالية لترسيب متقدم ومتراجع. تدل التباعدات والتقاربات على حركات الشاطئ أو هبوط الحوض. يشير التتابع المتقدم المائل إلى نموذج نهاية لميل صاعد لإنعكاسات مائلة

1.15.2.4.4.2 شعب الحجر الجيرى Limestone Reefs:

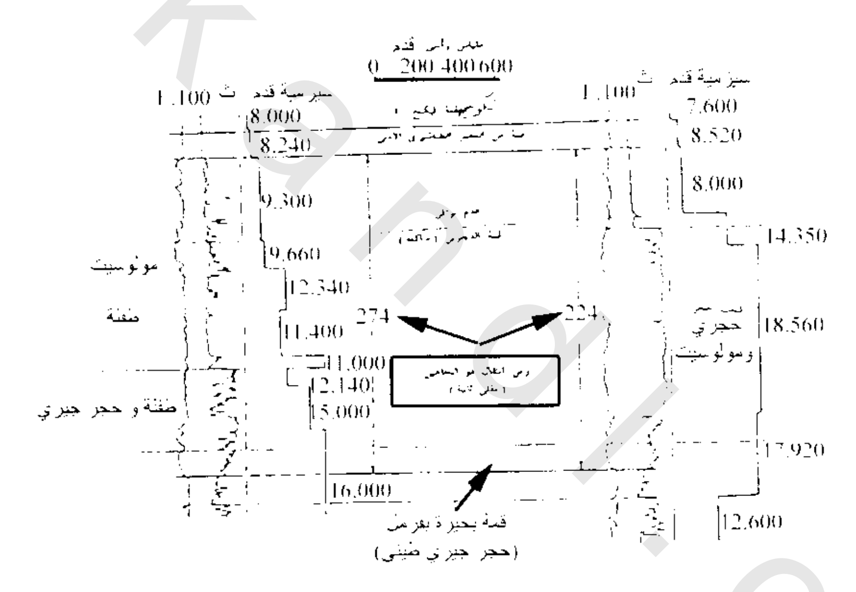
تتكون شعب الحجر الجيرى من البقايا الهيكلية للمرجان، أو الطحالب، أو ماشابه ذلك من كائنات المياه الضحلة، وتحدث التراكمات غالبا فى الأماكن الضحلة أو الجزر المحاطة بالمياه العميقة. وتحاط وتغطى المادة المسامية للشعب المترسبة بالطمى الذى يتماسك فيما بعد إلى طفلة، وينتج عن ذلك ظروف مثالية لتكوين واحتجاز الهيدروكربونات. وعند إكتشاف البترول بالطريقة السيزمية فى شعب لدوك Leduc فى البرتا Alberta نجحت أساليب الإنعكاس الفنية فى كشف شعب حجر جيرى منتجة فى غرب تكساس، البرتا، الينوى، ليبيا، ومناطق بترولية أخرى.

ويستغل التباين بين السرعة فى شعب الحجر الجيرى والطفلة المحيطة بها فى تحديد مواقعها بالطريقة السيزمية. هذا التباين يفسر وجود الشعب كعدسات تبرز تراكيب ظاهرية فى العواكس السفلية وتركيبات أخرى ناتجة من تأثيرات التغطية. وقد وضح سكيلس Skeels 1955 تباين تأثير السرعة بين شعب الحجر الجيرى وشعب الطفلة البعيدة عنها وكذلك التسجيلات الكهربية فى بئرى أ، ب شكل (2-113) وهذا التباين يبين قصر الفترة الزمنية للإنعكاس من أسفل منطقة الشعب والآخر من أعلاها.

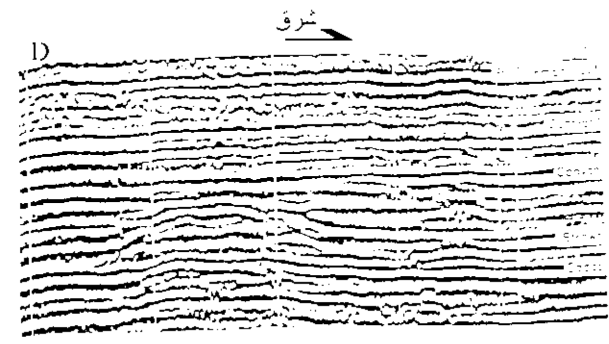
وأحيانا أخرى تظهر الشعب بإنعكاسات سيزمية بما فيها التغير والإنقطاع. وبتأثير الحيود تظهر الشعب بوضوح كبير على مقاطع التسجيل شكل (2-114) فوق حقل شمال مدينة نوكس North Knox City



شكل (2-112): عدم توافق عند مستويين موضحين بنموذج سيزمى طباقى أ) قطاع كامل، ب) تفصيل للجزء الأوسط



شكل (2-113): قياسات كهربية وسرعات بينية سيزمية لآبار مجاورة فى البرتا Alberta. أ) بعيدة عن الشعب، ب) فى الشعب



شكل (2-114): قطاع سيزمى يوضح تكون شعب فى حقل شمال مدينة نوكس-تكساس North Kinox City ñ West Texas

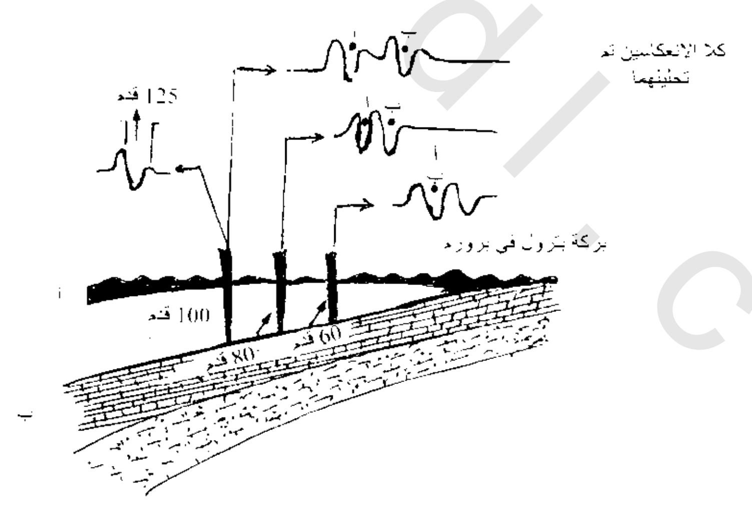
2.15.2.4.4.2 عوائق نفاذية مقرونة بقطع تحتى أوترقيقات وتقطيعات تآكلية أخرى

Pinchouts and Other Erosional Trucations:

أغلب الإنعكاسات المرصودة على تسجيلات، هى إرتدادات من حدود منفردة عند زمن يسمح لها بالتداخل بطريقة إنشائية. أما فى حالة سطح عدم التوافق والذى لايوازى أسطح بينيه أخرى أعلى أو أسفل فإن توليد الإنعكاس يأتى بتكرار العمل العرضى لاستخدام ذلك فى رسم خرائط الإنعكاس. وحيث أن عدم التوافق له أهمية كبرى فى إستكشافات البترول كما هو واضح فى شكل (2-115) حيث أن البترول ينحصر فى تكوينات لها شكل خابور بميل صاعد ناتج من تآكل الرمل المسامى المائل تم يغطى هذا الرمل بمادة غير منفذة فى ترسيب تالى.

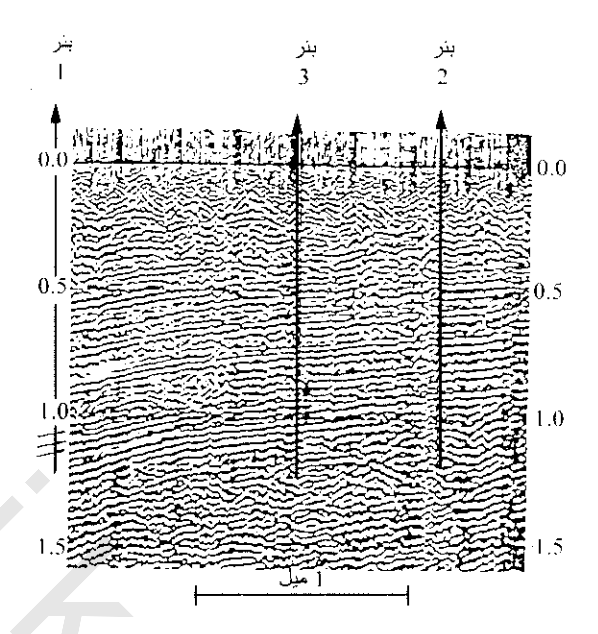
ولتحديد موقع مثل هذه الظاهرة، يجب إستخدام الإنعكاس السيزمى بطريقة تضيق مدى الإلتباس كما فى شكل (2-116) حيث يوضح هذا الشكل مثل هذه الترقيقات والتى يمكن إكتشافها بإدماج المعلومات السيزمية والجيولوجية فعند 1.1 ثانية يوجد ثلاث قمم على الجانب الأيسر للقطاع والتى تترابط على أساس معلومات السرعة مع رمل حامل للمياه بسمك 200 قدم عندئذ عند بئر (1). وباتباع هذه القمم جهة اليمين تقل إلى قمتين بالقرب من مركز القطاع وتفقدان الترابط كلما اقتربا لأقصى اليمين.

هذا التغير فى شكل الموجه، تدل على أن التكوين العاكس يقل أو يختفى. أما فى البئر الثانى لايظهر الرمل مطلقا. أما فى البئر 3 المحفور فى إتجاه ميل أسفل بئر 2، ظهر الرمل فى مستوى أعلى وأرق ولكنه حامل للمياه. وهذا ما يوضح أنه عندما يترقق الرمل فى إتجاه الميل الصاعد يمكن أن يتشبع بالمياه كأنه طيه محدبه حاملة للمياه عند قمتها.



شكل (2-115): تتبع طبقة متقاربة فى إتجاه نهايتها باستخدام إنعكاسات سيزمية من سطح قمتها وقاعها

وللبحث عن البترول فإنه يجب تحليل أفضل للإنعكاسات من هذا المنسوب الذى وجد فيه الماء، وبذلك يمكن التنبأ بموقع ترقيق بدقة أكثر، ويحدد موقع البئر الثالثة التى ربما تعطى بترولا بدلا من الماء. ومع ذلك يمكن وجود آبار جافة قبل الحصول على بركة بتروليه طباقية أكثر مما تتطلب عادة الأكتشافات التركيبية. هذا المثال يوضح مدى خطورة الحفر فى المصائد البترولية الطباقية عنها فى مصائد البترول التركيبية. شكل (2-117)



شكل (2-116): ترقيق الجسم/مللى كما شوهد على قطاع سيزمى. الرمل مبين بالأسهم على طول الحافة اليسرى للقطاع حيث يوضحه بئرا بسمك 290 قدم يختفى الرمل عند بئر 2 ولقد وجد الرمل حاملا للمياه فى بئر 3 حيث يدل على عدم وجود بترول فى الترقيق (روبنسون 1971 Robinson)

يوضح مصيدة تقطيعية منتجة من نوع مختلف إلى حد ما بالإنعكاس السيزمى فى حوض جيفهورن Gifhorn basin فى الشمال الغربى لألمانيا، حيث يظهر رمل دوجربيتا Dogger beta الحامل للبترول (من العصر الجورى) أسفل عدم التوافق عند قاعدة الألباين Albian (طباشيرى). يتجمع البترول على طول الخط المبين فى شكل (2-117) فى حالة على شكل خابور ذات الميل الصاعد لرمل الدوجرالجورى الذى ينتهى عند عدم التوافق بين العصر الطباشيرى والعصر الجورى. وبقياس التقارب الدليلى لمثل هذا الخابور على التسجيلات السيزمية المبكرة أدى إلى إكتشاف الإنتاج فى طبقة رمل دوجر Dogger فى حقل هوهن Hohne. القطاع السيزمى فى شكل (2-117) هو مسح تقليدى تم بعد تنمية الحقل.

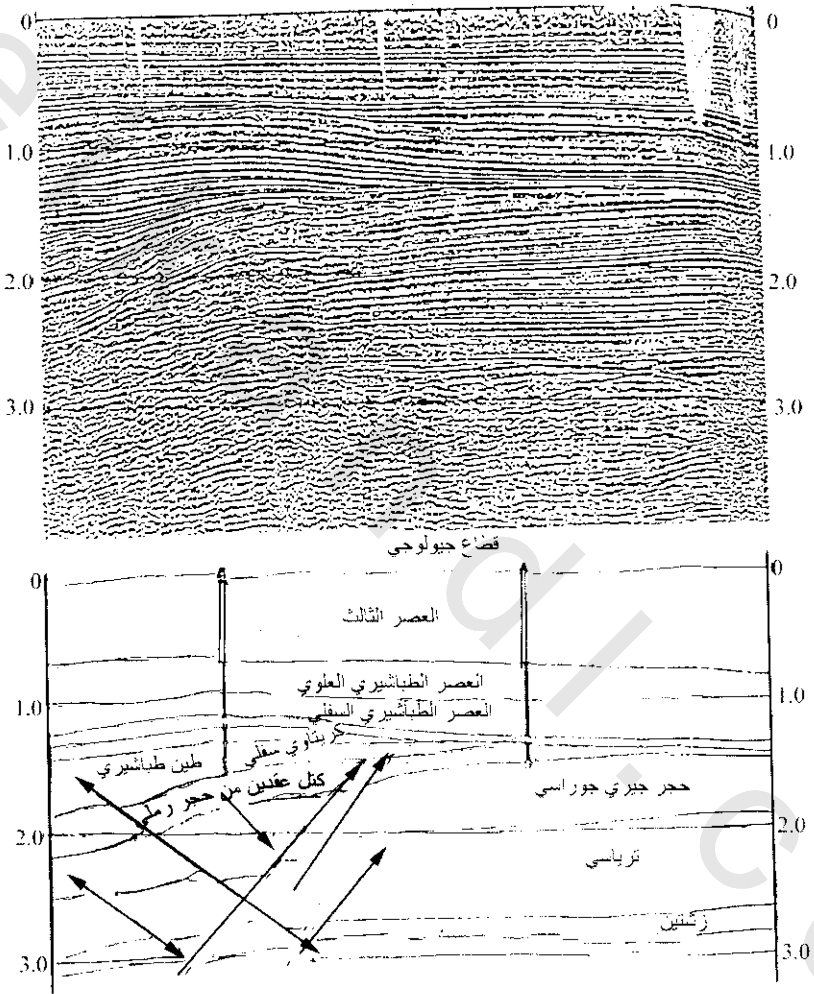
3.15.2.4.4.2 رواسب القنوات والعدسات الرملية

Channel-Sand Deposits and Other Sandlenses:

تستطيع أى قناة أو عدسة رملية مدفونة ومحاطة بطبقة غير منفذة أن تحتجز البترول تحت مصدر تخزين جيد، وقد وضح ليونس ودوبرن Lyons and Dobrin 1972 أن إمتداد بحقل جنوب سيرز south ceres فى مقاطعة نوبل، أوكلاهوفا Noble, Okla يحتجز البترول فى قناة رملية من هذا النوع وقد تحدد مكانه على أساس معلومات الإنعكاسات السيزمية. يوضح شكل (2-118) قطاع عرضى خلال عدسات رملية بقياس متقن للأزمنة التفاضلية بين إنعكاس ما فوق منطقة الرمل مباشرة وآخر تحتها. وأيضا يتضح فى الشكل أن النموذج المتساوى للزمن يتطابق فيه الزمن الأكبر مع السمك الأكبر للجسم الرملى.

4.15.2.4.4.2 تغيرات السحنة Facies Changes:

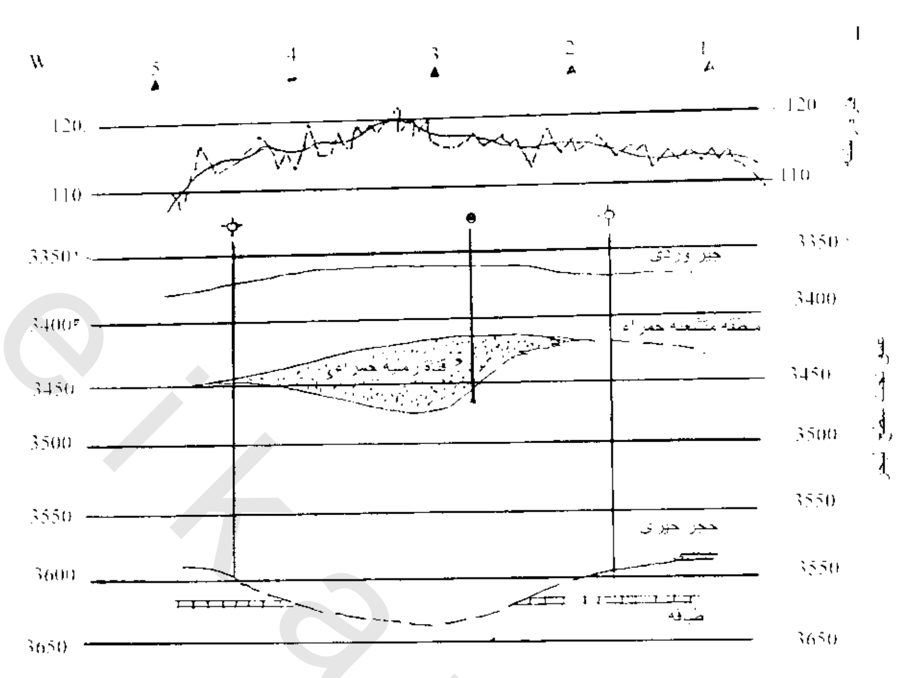
فى بعض حقول البترول يحكم تجمع البترول التغيرات الجانبية من سحنة منفذة لأخرى غير منفذة. وقد ناقش رول Roll 1972 هذا الظاهرة فى تكوين Bentheim بحقل برامبرج Barmberge بألمانيا، حيث تغيير السحنات مما جعل من الممكن احتجاز البترول بميل صاعد فى الحقل. وعندما بنيت الكنتورات فى الخريطة السيزمية وجد بها ميل اقفال تركيبى ذى ميل صاعد مقابل فالق ما. ولكن عند حفر البئر الإستكشافى وجد البترول خارج الأقفال. ويشير هذا إلى أن التجمع البترولى كان بسبب تغيير السحنة من رمل لطفله. ويعكس هذا الإكتشاف وجوب الإجتهاد التام فى التكامل بين الجيولوجيا والجيوفيزياء.



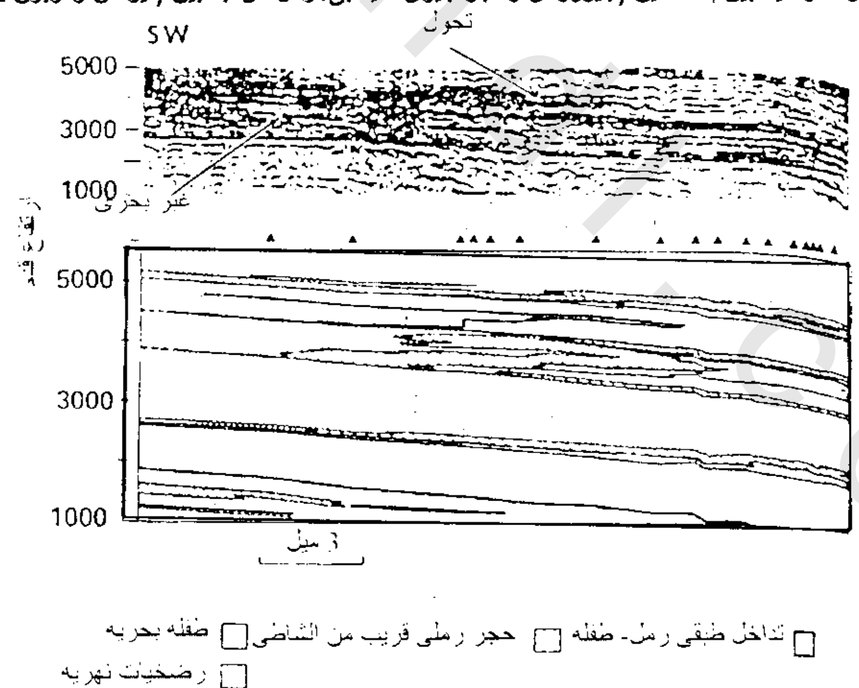
شكل (2-117): قطاع تسجيل وقطاع جيولوجى مناظر (حقل هوهن-المانيا الغربية Hohn W. Germany) فى تقطيع كتل عقدية من الحجر الرملى اسفل عدم توافق من العصر الجورى الطباشيرى

بالتطورات الحديثة فى الحصول على المعلومات السيزمية والمعالجة، أمكن تتبع التداخل على هيئة أصابع بين الرمل والطفله بنجاح أكبر فى مناطق مناسبة عما كان فى الأزمنة المبكرة. يوضح شكل (2-119) (سانجرى وديدمير Sangree and Widmeier 1974) تحول من طفله بحرية (على اليمين) إلى حجر رملى نهرى قريب من الشاطئ (على اليسار) يمكن تتبعه على مقطع تسجيل إنعكاس. كثافة الإنعكاسات الزائدة عند وسط مقطع التسجيل تدل على العدد الأكبر للتناوبات بين رمل وفطلات على طول هذا الجزء، وهذا يوضح كيف أن كثافة

أحداث الإنعكاس تعطى معلومات عن المكان لمثل هذه التحويلات. ويوضح القطاع الجيولوجى المدعم بـ 18 بئر متقاربة هذه الظاهرة.



شكل (2-118): قطاع عرضى من تسجيلات سيزمية يحدد قناة مملوءة منتجة (صخر رملى متشعب أحمر) على أساس شاذات فى الفترة الزمنية بين إنعكاسين (جيروردى وحجر جيرى سيسبى/لرمل ذى جانبين (ليونس ودوبرن 1972)

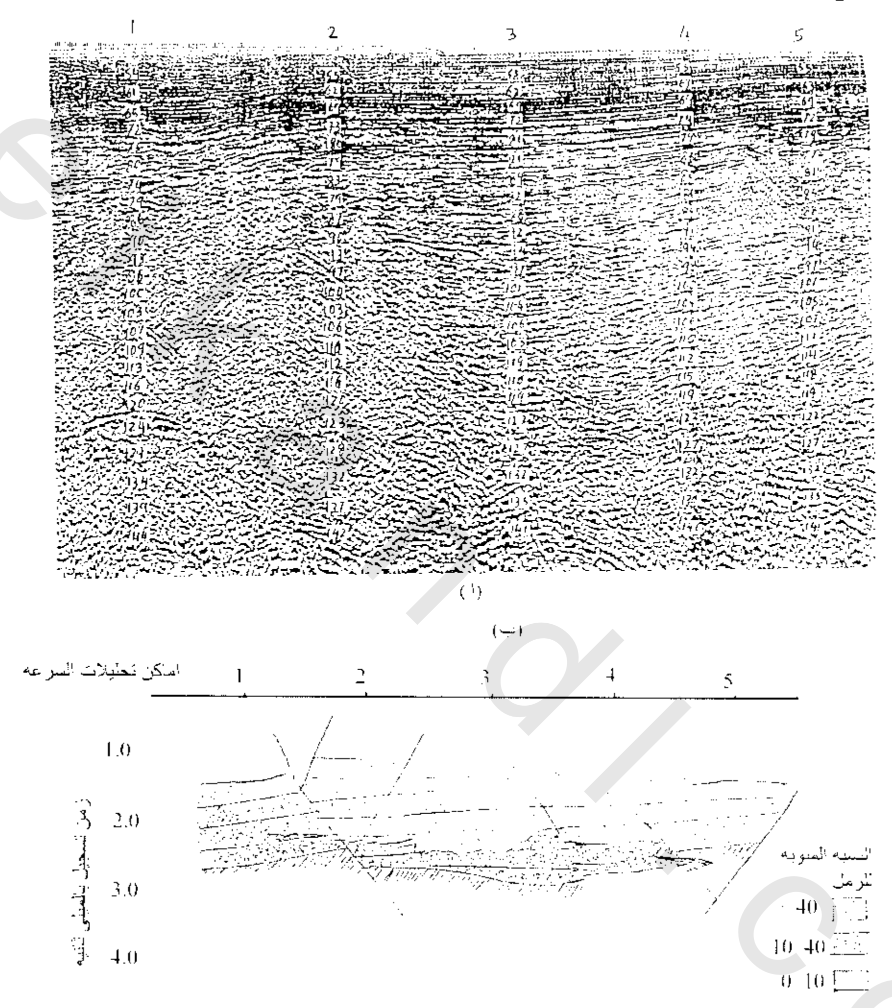


شكل (2-119): مقارنة لمقاطع عرضية جيولوجيه وسيزميه فوق منطقة فى حوض سان يون San Jun. توضح المثلثات السوداء موانع الآبار (سانجرى وودمير Sangree & Widmerer)

16.2.4.4.2 دراسة الخواص الصخرية من معلومات الإنعكاس

Study of Lithology from Reflection Data:

بالأساليب الفنية الحقلية الحديثة وطرق معالجات معلومات الإنعكاس الجيده أمكن تقدير الخواص الصخرية كنسب رمل-طفله أو نسب طفله-حجر جيرى وذلك بدلا من إستخدام السرعات البينية من إنعكاسات متتالية أو إستخدام معادلة دكس Dix 1955.



شكل (2-120): معلومات بحرية سيزمية من لوسينا Lousiniana تربط التراكيب والخواص الصخرية. أ) قطاع تسجيل سيزمى يوضح سرعات بينية بمئات الأقدام لكل ثانية، ب) قطاع يوضح التركيب والخواص الصخرية المستنتجة من نسب رمل-طفلة كما قدرت من السرعات البينية (الإتجاهات التركيبية والتصدع على أساس مخططات الإنعكاس والإستمرارية. النسبة المئوية للرمل على أسس سرعات بينية)

يوضح شكل (2-120 أ) مقطعا سيزميا بحريا فى لوسينا Louisinna فيه حسبت السرعات البينية عند خمسة مواضع متقاربة جدا، أما شكل (2-20 ب) فيمثل قطاع عرضى لتوزيع الرمل المحسوب من السرعات. وقد أدى التوافق بين حدود الخواص المستنتجة والإتجاهات التركيبية لإنطباع جيد لهذا الإستنتاج.

وبطريقة أخرى حديثة المنشأ هى قياس تخفيف الموجات السيزمية التى تمر خلال القطاع، أمكن تحديد تغيرات فى السعة النسبية بين إنعكاسات متتالية، حيث فسرت كتحويلات من رمل لطفله خلال الفترة الطباقية المعروضة. ويوضح شكل (2-121) هذه الحالة التى رسم فيها أجسام رملية فى خرائط معلومات التخفيف والتى تطابقت مع نتائج حفر الآبار.

5.2 سيزمولوجية القشرة الأرضية Crustal Seismology:

أدى دراسة علم الزلازل لمعرفة كثير من المعلومات عن القشرة الأرضية، وتطبق الآن طرق الإنفجار السيزمى الصناعى (طريقة الإنكسار والإنعكاس) لمعرفة سمك وتركيب القشرة الأرضية. ومن مميزات طرق الإنفجار الكيميائية أو (التفجيرات النووية) عن الزلازل هى معرفة زمن ومكان التفجير، أيضا تحديد كمية التفجير المطلوبه بدلا من إنتظار حدوث الزلزال الملائم. وفيما يلى نستعرض مشاركة التفجير السيزمى لفحص القشرة الأرضية:

1.5.2 تحديد القشرة Definition of the Crust:

القشرة هى جزء صلب من الأرض فوق فاصل، وهو Moho discontinuity الذى يفصلها عن الستار. وعند زيادة السرعة الأولية P.W بحوالى 8 كم/ث يمكن التعرف على فاصل موهو، وقد تحدد إمتداد هذا الفاصل بوساطة الدراسات تكون فى بعض المناطق الغير مستقرة تكتونيا غالبا مبهمة لكنها تعطى نبضات واضحة. يمتد السمك الحقيقى فوق الموهو (القشرة الأرضية) من حوالى 6 كم تحت أرضية المحيطات إلى حوالى 70 كم تحت جبال الأنديز.

2.5.2 تركيب القشرة القارية (تغيرات إقليمية):

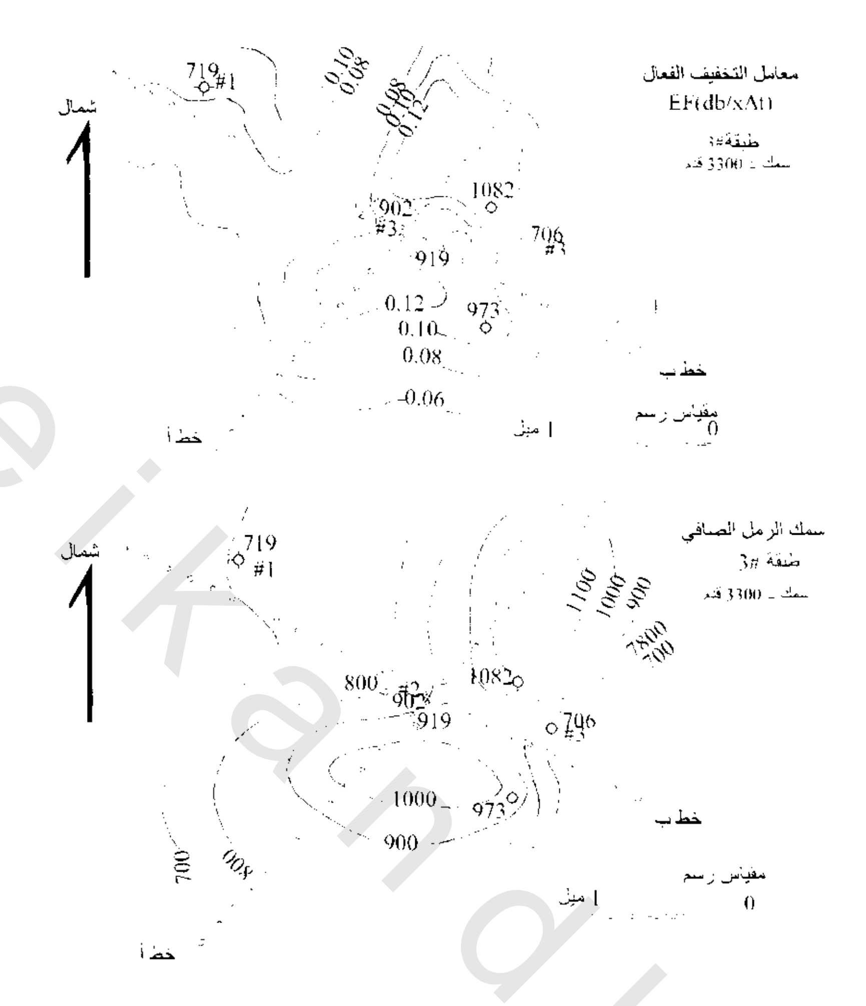
Structure of the Continental Crust (Regional Variations):

تمت دراسات مهمة لتركيبات القشرة بواسطة التفجيرات السيزمولوجية فى الولايات المتحدة، روسيا ووسط أوروبا، وأهم نتائج هذه الدراسات موجودة فى مجلدات هيكوك Heacoch 1977, 1971، وميللر Muller 1974.

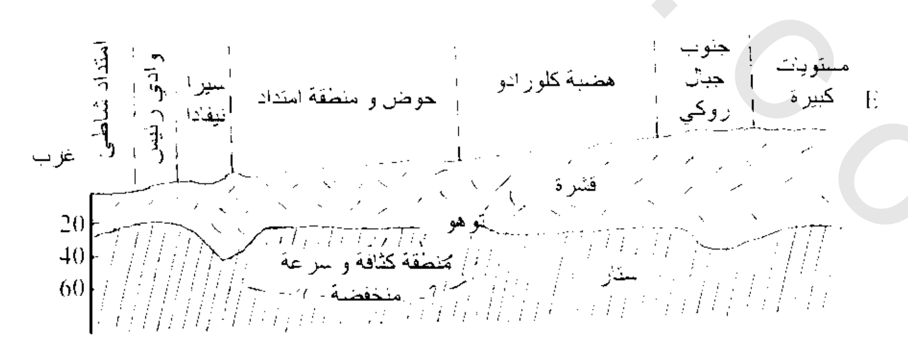
عادة يكون وجود الموهو بين عمق 20 كم، 50 كم، ولكن إقليميا ربما يكون أعمق مثال ذلك تحت سلسلة طيات الجبال الحديثة. فى قليل من الأقاليم الخاصة، تمت دراسة التغيرات الإقليمية فى عمق الموهو لعدد كبير من الإنكسارات لمدى طويل، مثل بروفيلات إنكسار امتدت لـ 200-300 كم وتطلبت شحنات انفجار بلغت عدة أطنان.

يرى شكل (2-122) أهم مثال من دراسات باكسر Pakiser 1963 تمت فى غرب الولايات المتحدة. هذه الدراسة أشارت إلى ان زيادة سمك القشرة يحدث تحت سلسلة جبال، وأن كل منطقة جيولوجية أساسية تكون مصاحبة لخاصية سمكية للقشرة.

أمثلة أخرى لتغير إقليمى فى سمك القشرة مدت بواسطة دراسات سيزمية عميقة فى وسط أوربا (جيس وآخرين Giese et al. 1976)، روسيا (كوسمنسكاى وآخرين Kosminskaya et al 1969) والهند (كايلا Kaila 1982)، وعلى أساس النتائج المتاحة من شمال أمريكا وأوربا أمكن الاستدلال على معلومات تفصيلية عن تركيب وعمق الموهو فى عدة مناطق تكتونيه. وقد وجد بروديهل Prodehl 1977 أن الفاصل بين القشرة والستار يكون حاد فقط فى مناطق القشرة الرفيعة، وفى مناطق القشرة السميكة فإن الفاصل يكون أكثر أو أقل



شكل (2-121): مقارنة التخفيف وسمك الرمل الصافى فى حقل بير نوز، كاليفورنيا .Beer Nose, Calf (سافت و ماتكر Savit and Mateker 1971)



شكل (2-122): تغير فى سمك القشرة من كاليفورنيا إلى كلورادو على أساس مسح سيزمى إنكسارى

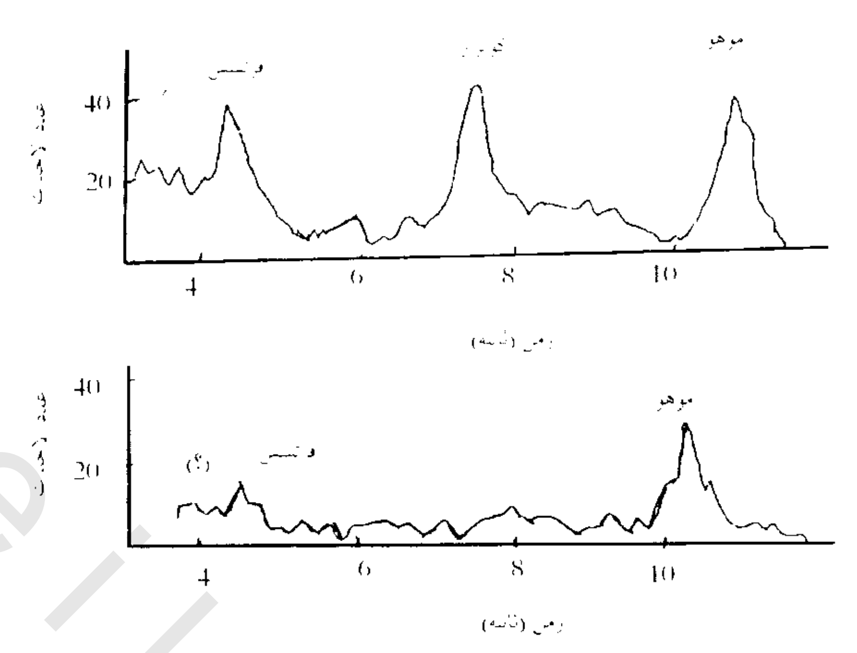
عرض لمنطقة إنتقالية من السمك تتغير من 2 إلى أكثر من 15 كم. يلخص جدول (2-3) تركيب القشرة والفاصل بين القشرة والستار فى وحدات تكتونيه مختلفة لشمال الولايات المتحدة وأوربا.

توجد زيادة عددية لدراسة القشرة العميقة باستخدام السقوط التقريبى العمودى Near Normal Incidence (NNI) وأحداث موجة الإنعكاس الواسعة (WAR) Wide-angle reflection شكل (2-123). ويوضح شكل (2-123) نتائج الدراسات الأولية لليبشر 1964 Liebsher لتعريف طور الإنعكاس الأخير الذى يحدث فى التسجيلات التى تنتج من عمل التنقيب التجارى باستخدام السقوط التقريبى العمودى (NNI) للانعكاس. وقد اقترح التوزيع افحصانى للتوافق الحادث للأطوار المتأخرة ما بين 4 إلى 11 مرة إنعكاس لاثلاثة فواصل فى بعض مناطق الدراسة. ويفسر شكل (2-123) لانعكاسات الحادث بين 10-11 مرة بعد الإنفجار على أنه بسبب فاصل الموهو بين 7-8 مرة بسبب فاصل كونراد Conrad* والذى يحدث عند حوالى 4 مرات حيث يشارك لفاصل جديد يسمى فاصل فورتسش.

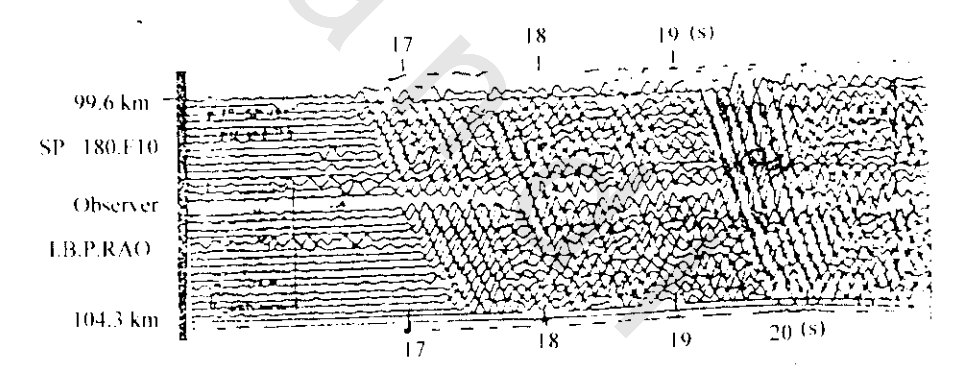
جدول (2-3) خواص تركيب القشرة لبعض المناطق التكتونيه من شمال أمريكا وأوربا

المنطقة	نوع القشرة	عمق الموهو كم	السرعة P_w كم/ث	معدل سرعة القشرة
كندا، اسكتنافيا درع أوكرانيا	درع	50-40	8.4-8.1	عالى
سهول كبير (أمريكا)	قارى مستقرة	50-40	8.4-8.1	عالى
هضبة كلورادو	جزء غربى متحرك أمريكا	50-40	7.8-7.7	عالى
جبال أبلاشيا	حركة جبال بنائية قديمة	50	8.0~	عالى
سيرانيفادا	حركة جبال بنائية حديثة	60-40	7.9-7.8	متوسط
جبال روكى			8.0-7.8	منخفض
الألب			8.1-8.0	منخفض
كليدونيدز -شمال انجلترا	حركة جبال بنائية قديمة	35-30	8.0~	منخفض
كليدونيدز – شمال اسكتلاندا	حركة جبال بنائية قديمة	30-25	8.0	متوسط
هرسينى ألمانيا، فرنسا، برتغال	حركة جبال بنائية قديمة	30	8.4-8.0	منخفض
حوض ومنطقة سلاسل	جزء غربى متحرك (أمريكا)	30	7.9-7.8	منخفض
أخدود الراين العلوى	أخدود	25-20	8.1-8.0	منخفض
ليماجن، أوفرجن (أخدود بوتاوا)	أخدود	30-25	7.9-7.3	منخفض
سهول نهر سناك	أخدود	20		منخفض
		40		عالى
أباننر	حركة جبال بنائية حديثة	20	8.0-7.3	منخفض
سلسلة شاطئ CA	حركة جبال بنائية حديثة	25-20	8.0	منخفضة

* فاصل سرعة موجود بعد الكونراد العلوى، ومن الدراسة السيزمولوجية فى بداية عام 1920 اقترح طبقتين قاسمتين للقشرة القارية. هذا الإستنتاج يتفق جيدا مع الإتفاق الشائع الان عن ان القشرة تتكون من طبقة جرانيتية عليا وطبقة بازلتيه تحتها.

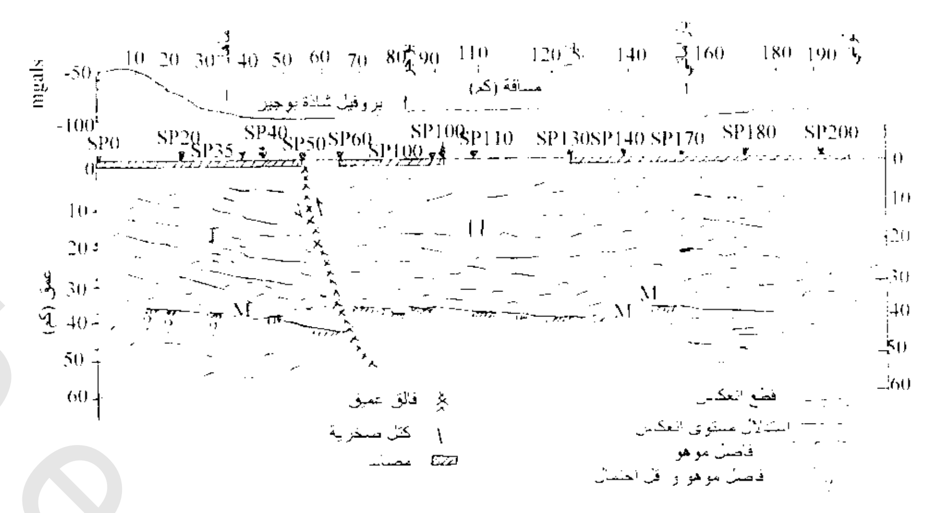


شكل (2-123): ترددات ضلعية توضح عدد الأحداث الملاحظة كدالة لطريقة فترتى زمن (ثانية) فى سقوط عمودى لمسح سيزمى إنعكاسى (جنوب ألمانيا). وتفسر القمم كعدم استمرارية (انقطاعات) كبيرة خلال القشرة (فوتسش، كونراد) وعند القاعدة (موهو) (على أساس ليبشر Liebscher 1964)



شكل (2-124): نموذج لجسة سيزمية عميقة مسجلة بزاوية إنعكاس واسعة (عريضة) (PM) من تسجيل تقاطع الموهو Moho فى غرب شبه جزيرة الهند PM حدث تماما بعد 9 ثانية (كيالا وآخرين Kaila et al 1981)

فى عشرات السنين الماضية، إمتدت دراسات زاوية الإنعكاس الواسعة (WAR) بكميات ملائمة من نتائج درع بيننسولار الهندى Peninsular Indian. ويوضح شكل (2-124) تسجيل نموذجى بزاوية إنعكاس واسعة (WAR) قوية (P_M) من فاصل موهو بعد 19 مرة. ويفسر شكل (2-125) قطاع قشرة عرضى على طول 200 كم ويبدأ البرفيل من الشاطئ الغربى عند خط عرض 18° شمالا، وحدد فاصل الموهو غالبا كعاكس سائد عند عمق ما بين 36-40 كم. وأيضا وضح الشكل عدد من قطع إنعكاسية تحت مصائد ديسان Deccan فى إتجاه فاصل موهو. يقسم الفالق العميق اسفل مصائد ديسان القطاع العرضى الكلى، شاملا فاصل موهو، إلى كتلتين قشريتين.



شكل (2-125): قطاع صخرى عرضى على طول بروفيل كوينا Koynaz (غرب الهند)، مشتق من تفجيرات إنكسار وزاوية الإنعكاس الواسعة. تدل التفجيرات على عددها على طول بروفيل طوله 200 كم. حدد الموهو كعاكس أكثر ظهوريا (كيلا وآخرين Kaila et al 1981)

ملاحظة: الفالق العميق أثره عند عمق حوالى 40 كم

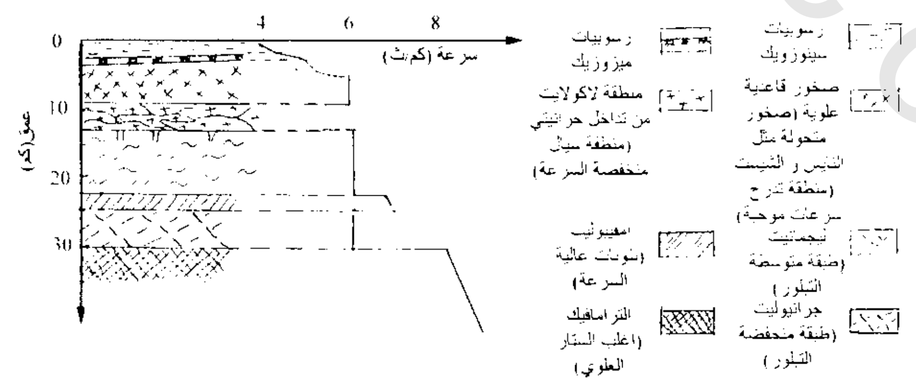
3.5.2 نموذج قشرة حديث بنطاقات السرعة المنخفضة:

New Crustal Model with Low-Velocity zones:

أدت زيادة عدد الدراسات، باستخدام تقنية معالجة النتائج السيزمية بدقة للدلالة على أن طبقة السرعة المنخفضة فى جزء السيال من القشرة عند عمق 5-15 كم. لذلك اقترح مولر Muller 1977 نموذج جديد للقشرة، ويوضح شكل (2-126) علاقة خطية للسرعة والعمق والذى استخدم لتوضيح الظواهر المختفة للنموذج الجديد للقشرة الأرضية.

يتميز النموذج بواسطة نطاقين للسرعة المنخفضة. i) السرعة المنخفضة لطبقة السيال فى أعلى القشرة الأرضية، ii) نطاق السرعة المعكوسة (المنقلبة) فى أسفل القشرة الأرضية. وتعتبر السرعة المنخفضة للسيال عند عمق 10 كم مطابقة لفاصل فورتسش Fortsch شكل 123، ونتوء السرعة العالية عند عمق حوالى 22 كم يتفق مع فاصل كونراد Conrad، وقفزة السرعة عند عمق حوالى 30 كم يعتقد أنها فاصل موهو Moho.

كان ميللر وآخرين Muller et al 1969 أول من اقترحوا نوع هذا النموذج للقشرة لمنطقة حوض الراين فى وسط أوربا وهذا النموذج غير قابل للتعميم.



شكل (2-126): نموذج خطى لقشرة قارية لمناطق منخفضة السرعة (ميللر Muller 1977)

4.5.2 تركيب القشرة القارية Composition of the Continental Crust:

من الممكن نمذجة تركيب القشرة القارية من دراسات جيولوجية وجيوفيزيائية مشتركة لمناطق معينة والتى تظهر بها صخور القشرة العميقة، مثال ذلك منطقة أفريا Ivrea zone فى جنوب الألب (بركهمر Berckhemer 1969، مهنيرت Mehnert 1975) حيث يتكون أعلى قطاع القشرة من شيست ونيس تحتهم تداخلات جرانيتية، والجزء الأوسط من القطاع يتكون من نيس جرانيتى وأجسام جابروية متداخلة طبافيا مع درجة نيس عالية. تدل هذه المعلومات على أن القشرة العميقة فى هذه المنطقة على الأقل جزئيا مشتقة من الرسوبيات، والنموذج القشرى يشبه الشكل الموضح لنماذج تدرج السرعة مع مكونات القشرة شكل (2-125).

عادة تعطى الصخور البللورية العلوية للقشرة فى سرعة أوليه Pw مابين 5.9 ,6.3 كم/ث والتى تطابق قيم الجيرانوديوريات والمجانيتات (سمثون وآخرين Smithon et al 1977) هذه القيم مناسبة مع معدل الكثافة والتركيب الكيميائى المقيم (هارس Harris 1971، جاكس Jakes 1973)، واللذان اقترحا أن هذه الصخور أكثر قاعدية من الجرانيت، بينما زالت المجادلة حول تركيب القشرة السفلية. ودلت الدراسة الإنكسارية للقشرة أن السرعة الأولية P_W تتراوح من 6.4-7 كم/ث فى القشرة السفلية والتى يمكن تميزها عن القشرة العلوية. وتعتبر السرعة 7 كم/ث قليلة جدا للجابرو أو الأمفيبوليت عند الضغوط العالية (كرستنس وفونتان Christensen and Fountain 1975. لذلك اقترح سمثون وآخرين Smithson et al 1977) أن السرعة 6.5 كم/ث ملائمة لصخور الجرانيوليتك فى القشرة السفلية، والسرعة 6.8 كم/ث تابعة للدايوريت والأنديزيت. ويدل وجود الإنعكاسات السيزمية خلال القشرة السفلية على تغيرها مع نطاقات تباين الممانعة الصوتية (السرعة الأولية P_W × الكثافة density).

مما سبق يتضح أن الإقتراحات الملاحظة تدل على ان القشرة القارية تتكون من طبقات رأسية وأفقية معقدة من الصخور المتحولة والنارية، والأولى أكثر سائدية ومنطقتى أفريا Ivrea zone (جنوب الألب) وتون ناب Jotun nappe (وسط النرويج Central Norwegian Caledonides) مثالين على إتساع كمية القشرة السفلية المكونة من سحنات صخور جرانيوليت.

5.5.2 تركيب وتكوين القشرة المحيطية

Structure and Compsotion of the Oceanic Crust:

من دراسات الجاذبية لاتزان القشرة الأرضية وكذلك الدراسات الزلزالية، اتضح أن سمك القشرة المحيطية أرفع من سمك القشرة القارية. وباستخدام المسح البحرى لموجات السيزمية الإنكسارية تبين أن سمك القشرة المحيطية حوالى 6 كم فى المحيطات الكبيرة، كذلك أوضح هذا المسح أن تركيب القشرة المحيطية غير متشابهة حيث أشار رايت Raitt 1963 أن هذه القشرة تتكون من ثلاثة طبقات كما هو مبين فى الجدول (2-4). وبالتقدم العديد فى مسح الموجات السيزمية الإنعكاسية والإنكسارية فى العشرات السنين الأخيرة تغير توضيح تركيب القشرة المحيطية حيث ظهرت عدة نماذج لهذا التركيب كإقتراح الطبقات الفرعية كما فى الجدول (2-4).

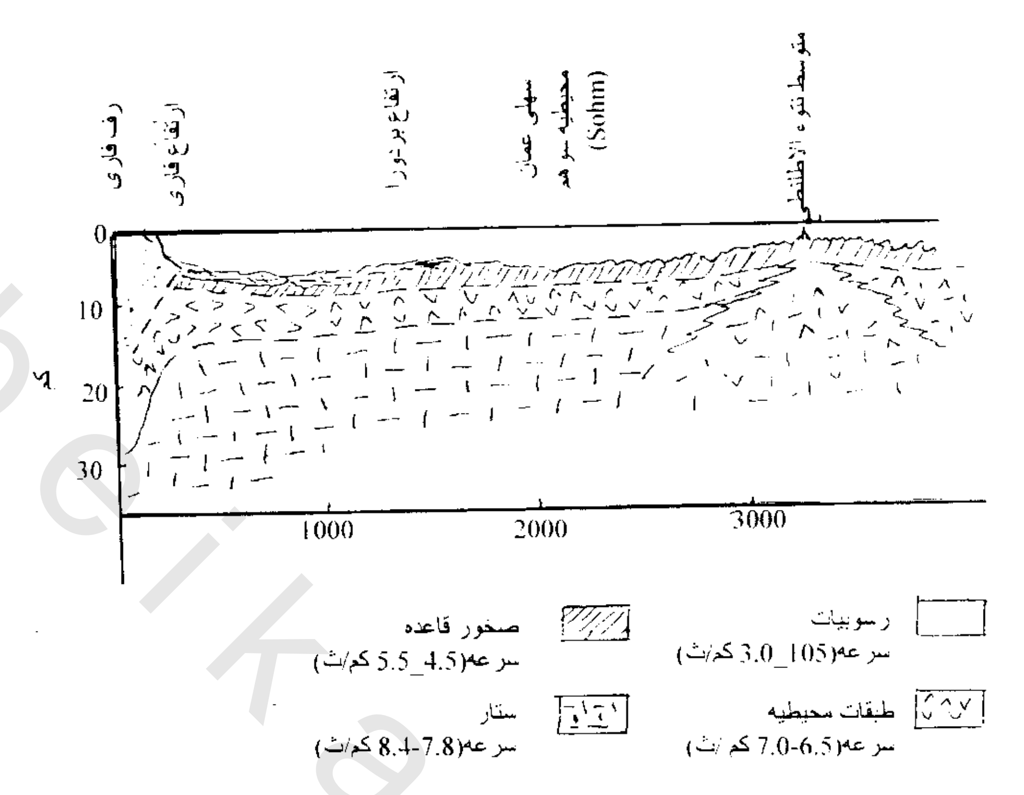
جدول (2-4) التركيب العادى للقشرة المحيطية وتكوينها

الطبقات	متوسط السرعة الأولية P_W كم/ث	متوسط السمك (كم)	سمك الطبقات الفرعية (كم)	السرعة الأولية (كم/ث)	التركيب الإفتراضى
تحت الماء	1.5	4.8			
طبقة (1)	2.0	0.8			رسوبيات غير متماسكة
طبقة (2)	5.1	1.7	2أ) (1-0.5)	3.8-2.5	وسائد بازلتيه
			2ب) (1.5-1)	6.0-4.0	بازلت متماسم وسدود لوحيه
طبقة (3)	6.7	4.8	3أ) (3-2)	6.8-6.5	جابرو متحول
			3ب) (4-2)	7.7-7.0	جابرو أو (سربنتينات الترامفيك؟)
الستار العلوى	8.1	-	-	-	بريدوتيت

بعض مشاريع الحفر فى عدة مناطق من المحيطات بينت أن الطبقة (2) تماثل الموجودة بالجدول، أما الطبقة (3) والمكونة الرئيسية لسمك القشرة المحيطية فما زالت محل مناقشة. وقد بين التغير الواسع لصخور القاعدية والفوق قاعدية (بازلت متحول، جابرو، سربنتينات...إلخ) أنها جرفت من الأخاديد ومناطق التشققات، بينما حد الموهو المحيطى فيقع بين صخور الجابرو والبريدوتيت. تشترك اعتبارات المتبقيات المغناطيسية فى تفسير كلا من الطبقتين 2, 3.

6.5.2 أمثلة لقطاع القشرة المحيطية Examples of the Oceanic Sections:

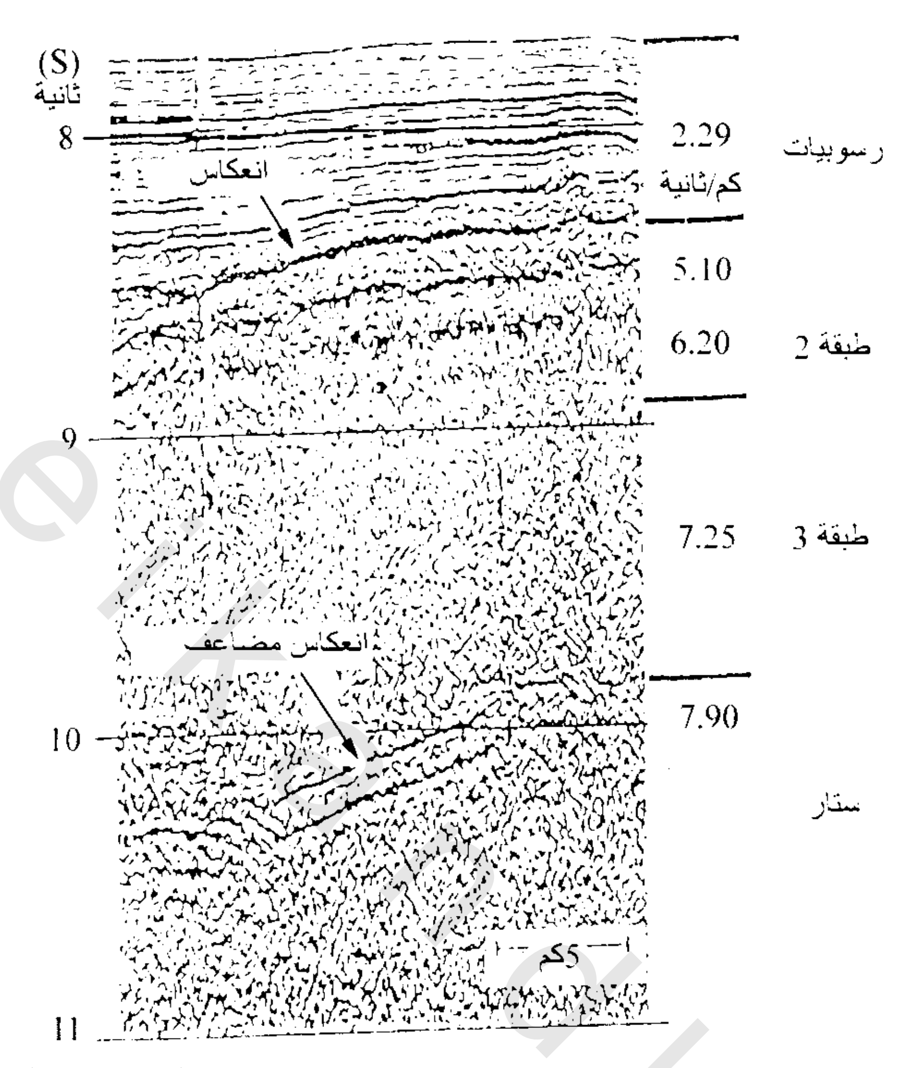
المثال الأول: يوضح شكل (2-127) قطاع للقشرة المحيطية من شمال الرف القارى الأمريكى إلى أخدود الأطلنطى الأوسط كما حدد بواسطة قياس السيزمية الإنكسارية. عمق الماء حوالى 5 كم يقل عند قمة الأخدود إلى 2 كم، كما أنه لاتوجد طبقات رسوبية عند النتوء (إرتفاع) وتزيد فى السمك قرب ارتفاع القارات، أما الصخور القاعية (طبقة 2) فيصل أكبر سمك لها عند قمة النتوء ويقل هذا السمك بالبعد عن النتوء. تظهر الطبقة المحيطية الأساسية (طبقة 3) أنها موحدة السمك ماعدا قربها من النتوء حيث تنتهى. يبلغ معدل عمق الموهو فى المحيط الأطلنطى حوالى 12 كم (محسوب من سطح الماء)، والاختلاف الأكثر معرفة لهذا العمق يحدث عند أجنحة النتوء (الإرتفاع) حيث سجلت السرعة السيزمية للستار عند أعماق 9-10 كم. ومن خواص هذا النتوء أيضا إختفاء الموهو فى قمة النطاق والسرعة المسجلة فى هذا النطاق الشاذ متوسطة ما بين الطبقة 3 والستار العلوى. والشذوذ التركيبى المصاحب لقمة النتوء ويكون علاقة مع تيارات الحمل وتكتونية قاع البحر.



شكل (2-127): قطاع عام صخرى من رصيف القارى للقارة الأمريكية إلى متوسط نتوء الأطلنطى (أوينج Wwing 1969)

المثال الثانى: من غرب الباسيفيكى، استخدم تلوانى وآخرين Talwani et al 1982 برفيلات متعددة القنوات السيزمية لتسجيلات لمساقط انعكاسات تقريبا رأسية فى البحر شرق أخدود اليابان. وذلك بهدف تخريط الموهو (تحديد مساحات تضاريس صخور القاعدة المسحجة (subdued).

يوضح شكل (2-128) إنعكاسات قوية من صخور القاعدة (طبقة 2) والموهو ولم تحدد قمة الطبقة بدقة لقلة سعات الإنعكاس. قيم السرعة (على اليمين) محصول عليها من تجربة أخرى مستخدم فيها مصدر قوى كافى، ومجموعات استقبال، وتسجيلات انكسار واصلة بواسطة طافية صوتية رادارية Sonobuoyus والسرعات المعطاه (فى رتب زيادية) مطابقة لطبقات المحيط 1 ,2ب ,3ب والموهو كما فى جدول (2-4). يمكن تحديد سمك الطبقات من تسجيلات طريقى الإنعكاس ومتوسط السرعات فى قطاعات الطبقات. وتوضح النتائج التى حصل عليها تالوانى وآخرين Talwani et al 1982 أن السمك الصخرى يختلف اعتباريا عبر المساحة الممسوحة.



شكل (2-128): قطاع تسجيل سيزمى لقرب انعكاسات رأسية ساقطة فى غرب الباسيفكى شرق أخدود اليابان، الأنعكاس الأعلى عند حوالى 8.4 ثانية ناتج من صخور القاعدة وانعكاس القاع عند حوالى 0.4 ثانية حيث يكون مميز لتقاطع الموهو Moho (تالوانى وآخرين Talwani et al 1982)

الفصل الثالث

التنقيب التثاقلى (الجاذبى)

Gravity Prospecting

1.3 مقدمة Introduction:

تختص هذه الطريقة بالكشف والقياس للتغير الجانبى للجاذبية الأرضية والتى تكون مصاحبة للتغير فى الكثافة القريبة للسطح. وتعطى كثيرا من التركيبات الجيولوجية التحت سطحية الهامة فى البحث عن البترول أو الخامات حيث أن التغير فى توزيع الكثافات الأرضية سببه شاذات وصفية فى المجال الجاذبى الأرضى.

2.3 أساسيات الطريقة والوحدات Fundamental Principles and Units:

1.2.3 قانون نيوتن للجاذبية Newtonis Law of Gravitational Attraction:

تعتمد نظرية التنقيب التثاقلى (الجاذبى) على تغيير قانون نيوتن لقوى الجذب بين كتلتين والمسافة بينهما.

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (3-1)$$

حيث F القوة بين الكتلتين m_2 & m_1 ووحداتها بالداين والكتل بوحدات القياس الكتلى

r المسافة بينهما بوحدات القياس الطولى

γ ثابت الجاذبية العالمى وأبعاده $L^3M^{-1}T^{-2}$ (L = الطول، M = الكتلة، T = الزمن)، ويعتمد قيمته العددية على نظام الوحدات المستخدمة.

2.2.3 ثابت الجاذبية العالمى The Universal Gravitational Constant:

فى عام 1790 برهن كافندش Cavendish من خلال تجربته على أن القيمة العددية لهذا الثابت عند إستخدام $cm^3gm^{-1}sec^{-2}$ تساوى تقريبا 7.754×10^{-8} بينما حددها هايلن Heylin 1930 بقيمة قدرها 6.67×10^{-8} c.g.s.

3.2.3 الجاذبية The Gravitation:

يمكن تعريفها عامة كقوة بواسطتها تجذب الكتل كل للأخرى. ربما يستخدم تعبير قوى الجاذبية (الجاذبية) كتطبيق فى الجيوفيزياء عادة كجذب بين الأرض ووحدات الكتل التى عليها أو القريبة من سطحها.

4.2.3 عجلة الجاذبية The Gravitational Acceleration:

يمكن الحصول على عجلة الجاذبية الأرضية (a) لكتلة m_2 بسبب جذب كتلة الأرض m_1 بواسطة استخدام قانونى نيوتن.

أ) قانون الجذب السابق $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$

حيث m_1 = كتلة الأرض m_1 = ١ جرام

r = نصف قطر الأرض

ب) قانون الحركة $F = a\, m_2$

من أ ، ب

$$\therefore a\, m_2 = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad \therefore a = \gamma \frac{m_1}{r^2} \qquad (3\text{-}2)$$

وتوضح العجلة القوة المؤثرة على وحدات الكتل معطية قياس المجال الجاذبى المؤثر على أى نقطة. فى نظام وحدات القياس سم.جم.ث فإن أبعاد العجلة يكون سم/ث٢، وتشير هذه الوحدة فى الجيوفيزياء بالجال Gal (نسبة لجاليليو Galileo)، وتكون عندئذ قيمة الجاذبية على سطح الأرض حوالى 980 جال. ولكن هذه القيمة كبيرة فى التنقيب الجيوفيزيائى ولذلك فإن وحدات عجلة الجاذبية المستخدمة فى التنقيب الجيوفيزيائى هى وحدة من الألف من الجال (ميللى جال) أو وحدة من المليون من الجال (ميكروجال).

5.2.3 الجهد Potential:

يعرف الجهد عند أى نقطة فى المجال الجاذبى بالطاقة المطلوبة لتحريك وحدات الكتل من نقطة مرجعية اختيارية (عادة فى البعد اللانهائى) إلى النقطة المطلوبة. وإذا كانت وحدات الكتلة محضرة من البعد اللانهائى فمن الممكن ملاحظة أن الطاقة المطلوبة لتحريكها إلى المكان المطلوب عند مسافة r من المصدر الجاذبى للكتلة $\gamma \frac{m_1}{r} = m_1$ ويكون هذا هو الجهد المصاحب للكتلة والمسافة.

3.3 العوامل المؤثرة فى تغير الجاذبية Factors Causing Variation in Gravity:

تعتمد قيمة الجاذبية عند أى نقطة على سطح الأرض على:

أ) خطوط العرض
ب) شكل الأرض
جـ) تأثير المد والجذر
د) الظواهر الطوبغرافية (التضاريس حول نقطة القياس)
هـ) توزيع الكثافات تحت سطح الأرض
و) الإرتفاع عن مستوى سطح البحر

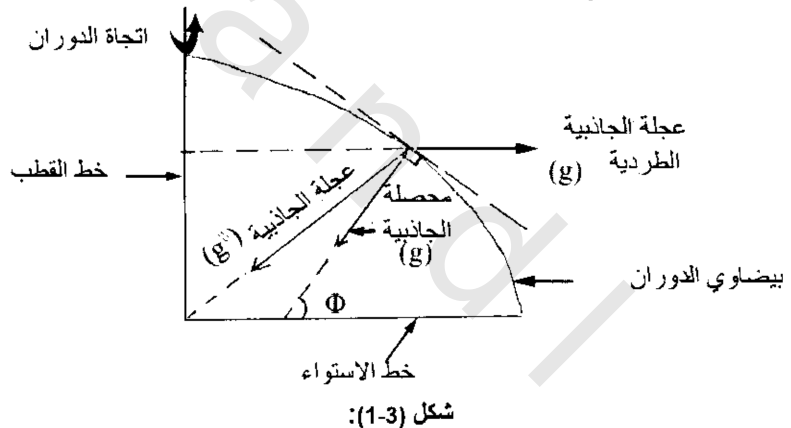
من هذا يتضح أن قيمة الجاذبية والتى مقدارها 980 جال غير ثابتة بل تختلف اعتباريا لكل من الإتجاه والقيمة من مكان لآخر على طول سطح الأرض وذلك لأن الأرض غير ثابتة وغير كروية وغير متجانسة.

1.3.3 التغير مع خطوط العرض* Variation of Gravity with Figure of the Earth:

حيث أن الأرض تدور حول محورها الرأسى فإن تأثير قوى الجاذبية عند أى مكان سوف يكون نتيجة تأثير جاذبية كتلة الأرض ناقص تأثير قوة الطرد المركزية للدوران والمؤثرة فى الإتجاه العكسى لقوة جذب الأرض لذلك فإن مركبة قوة الطرد سوف تؤثر على قوة الجذب المتغيرة مع خط العرض ما بين صفر عند الأقطاب وتقل بمقدار 3 جال عند خط الإستواء عنها عند الأقطاب والتى تبلغ 980 جال**.

2.3.3 تغير الجاذبية مع شكل الأرض Variation of Gravity with Figure of the Earth:

جاذبية الأرض لأى كتلة عليها تكون مختلفة من مكان لآخر على سطحها لأن هذه الأماكن لاتكون متساوية الأبعاد من مركز الأرض وهذا يدل على إبتعاد شكل الأرض من الكروية التامة والتى تسبب التغير فى الجاذبية بأكبر قيمة مقدارها 2 جال من مكان لآخر. وهذا يعتبر نتيجة مباشرة لدوران الأرض حول محورها الرأسى، والتى تؤثر على محصلة مجال الجاذبية Fg (الناتجة من قوة جذب الأرض Fa والمتجه إلى مركز الأرض ناقص قوة الطرد المركزية Ec والمتجه للخارج) تجريبيا، بواسطة جسم عند نقطة على سطح الأرض، وجد أن محصلة جاذبيته تختلف فى القيمة والإتجاه عن وضعه فى نقطة أخرى شكل (3-1). ومجموع الخطوط المماسية العمودية لمحصلة الجاذبية تثبت بيضاوية الشكل.



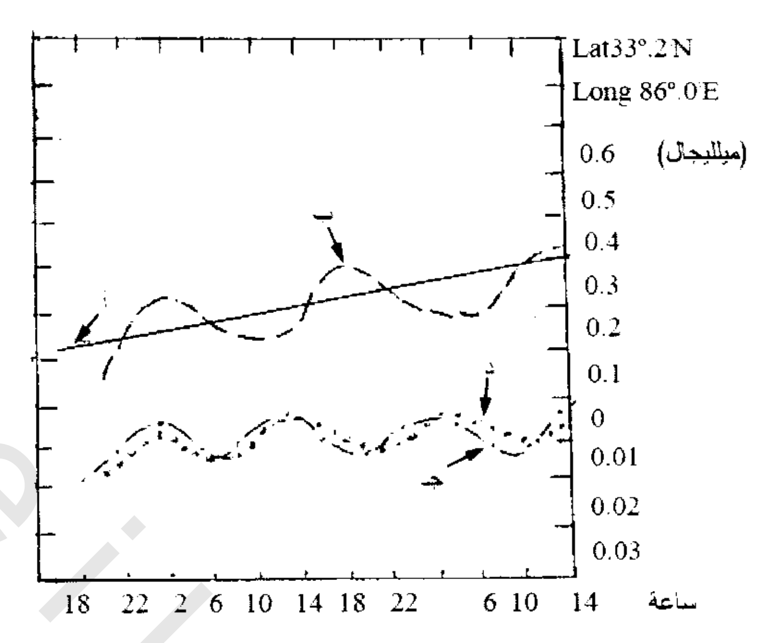
شكل (3-1):

3.3.3 تغير الجاذبية مع تأثير المد Variation of Gravity with Tidal Effect:

ينتج هذا التغير من تأثير جاذبية الشمس والقمر على الأرض. ومن المعروف أن الأرض ليست صلبة تماما ولذلك فإن سطحها يتشوه بسهولة بواسطة جذب الشمس والقمر وبالتالى بتأثير سطح الماء عليها برغم عدم تساوى الإمتداد. ولذلك فإن الإرتفاع والإنخفاض لنقطة على سطح الأرض أصغر بكثير من التذبذب فى مستوى الماء والذى يبلغ فقط قليل من البوصات. هذه الحركة والمعروفة بالمد برغم أنها صغيرة ولكن تغير فى قياس الجاذبية وذلك لتغير المسافة بين هذه النقطة ومركز الأرض. وقيمة هذا التغير يتغير مع خطوط العرض ودورة الزمن ويكون ما بين 0.2 إلى 0.3 مللجال شكل (3-2).

* المسافة بين خطى عرض وكذلك خطى طول حوالى 110 كم.

** بتطبيق قانون نيوتن حيث تكون الكتل ثابتة والمتغير أطوال خط الأقطاب وخط الإستواء، وبما أن طول خط الأقطاب 6357 كم أى طول خط الأقطاب يقل بمقدار 21 كم عن طول خط الإستواء لذلك فقد وجد أن القيمة المطلقة للجاذبية عند الأقطاب 980 جال وعند خط الإستواء 977 جال أى أن القيمة المطلقة للجاذبية عند الأقطاب أكبر منها بمقدار 3 جال عن قيمتها عند خط الإستواء.



شكل (3-2): مقارنة بين المنحنى النظرى والملاحظ لتغير الجاذبية مع المد: أ) قراءة جهاز قياس الجاذبية، ب) منحنى الإنحراف، ج) الجاذبية الملاحظة من منحنى الإنحراف (فرق أ & ب)، د) تغير الجاذبية المحسوب*

4.3.3 تغير الجاذبية مع الظواهر الطوبغرافية

Variation of Gravity with Topographical Features:

بالرجوع إلى قانون نيوتن $F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$ يرى أن التغير بالسبة للارتفاع أو الإنخفاض (تضاريس) عن مستوى سطح البحر ينتج تغير فى قوة الجذب. وأيضا من السهولة ملاحظة أن التلال المرتفعة فوق نقطة الرصد وكذلك الوديان المنخفضة تحت نقطة الرصد تشارك فى التغير فى المركب العادية بقيمة الجاذبية. وهذا المتغير فى الحقيقة بسبب جذب مثل هذه الظواهر الطوبغرافية والتى تحيط بنقطة الرصد.

5.3.3 تغير الجاذبية مع توزيع الكثافات

Variation of Gravity with Density Distribution:

الإختلاف فى كثافة مواد الأرض تساهم كثيرا فى تغير الجاذبية حيث أن أى كتلة عامة لها مجال جاذبى تتناسب شدته مع كثافتها. هذه الظاهرة والتى توصف بتغير الجاذبية بسبب توزيع الكثافة، فإنها حقيقة تقدم الأساس الفيزيائى لطرق الجاذبية للبحث والتنقيب حيث أن الكثافة خاصية تختلف بواسطة أنواع الخامات الجيولوجية موضحة كل نوع عن الآخر.

---

* معادلة هايلند Heilandís formula للمركبة الرأسية لقوة المد (g) النسبية بواسطة الشمس والقمر عند أى نقطة للأرض مشوهة تماما لمسافة (r) عندما يعمل مع جسم سماوى زوايا مقدارها α_s & α_m مع محطة الأرض

$$\Delta g = \frac{3\gamma r M_m}{2 D_m^3}\left(\cos 2\alpha_m + \frac{1}{3}\right) - \frac{3\gamma r M_s}{2 D_s^3}\left(\cos 2\alpha_s + \frac{1}{3}\right)$$

= حيث γ = ثابت الجذب العالمى & M_m = كتلة القمر & M_s = كتلة الشمس، D_m = مسافة القمر من الأرض & D_s = مسافة الشمس من الأرض ، α_m = زاوية محطة الرصد مع القمر & α_s = زاوية محطة الرصد مع الشمس.

4.3 مشاهدات فى الجاذبية :Observations in Gravity

تشمل هذه المشاهدات خمس نقاط أساسية منها الطرق التى تقاس بها الجاذبية فى الحقل والأخرى لتحويل النتائج لصورة جيولوجية نافعة.

1.4.3 خواص الجاذبية :Properties of Gravity

1.1.4.3 الجاذبية النسبية :Relative Gravity

وهى عبارة عن فرق قيم الجاذبية عند محطة الرصد ومحطة أخرى ثابتة فى منطقة المسح. وعادة ما تقاس مباشرة بواسطة البندول ومقياس الجاذبية.

2.1.4.3 المجال أو معدل التدرج :Gradient

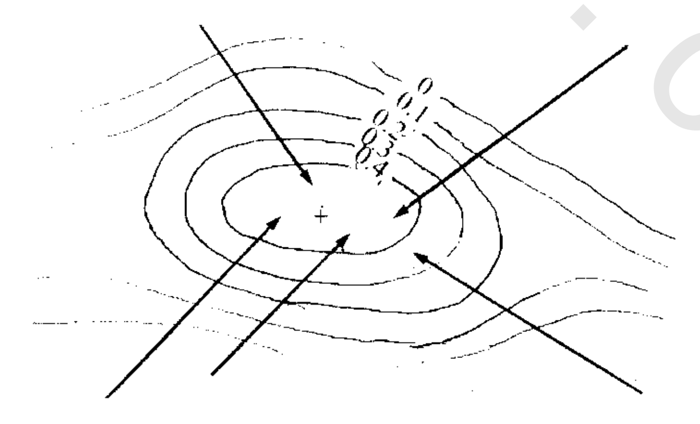
تدرج الجاذبية هو معدل تغيرها مع المسافة الأفقية لمركبة الجاذبية الرأسية. وفى المستوى الرأسى يكون التدرج ببساطة هو ميل بروفيل (قطاع) الجاذبية على طول أثر هذا المستوى على السطح.

ومن الممكن تحديد معدل التدرج على خرائط الجاذبية ثنائية الأبعاد من خطوط كنتور* الجاذبية بنفس الطريقة التى تحدد بها معدل تدرج الخرائط الطوبغرافية. وعادة ما يشار إلى معدل التدرج على الخرائط بواسطة أسهم تكون فى إتجاه أسرع تغير للجاذبية الرأسية شكل (3-3). ومعدل الإتجاه له الخواص الآتية:

أ) قيمة $= \dfrac{\text{فرق قيم كنتورين متتالين}}{\text{المسافة} \times \text{مقياس الرسم}}$

ب) إتجاه = بالنسبة للاتجاهات الأصلية (شمالى – جنوب – شرق – غرب)

ج) إشارة = إذا كان فى إتجاه تزايد القيمة تكون الإشارة موجبة وإذا كان فى إتجاه تناقص القيمة تكون الإشارة سالبة.



شكل (3-3): تشير الأسهم لإتجاه معدل التدرج (المسافة الكنتورية 0.1 ميللجال)

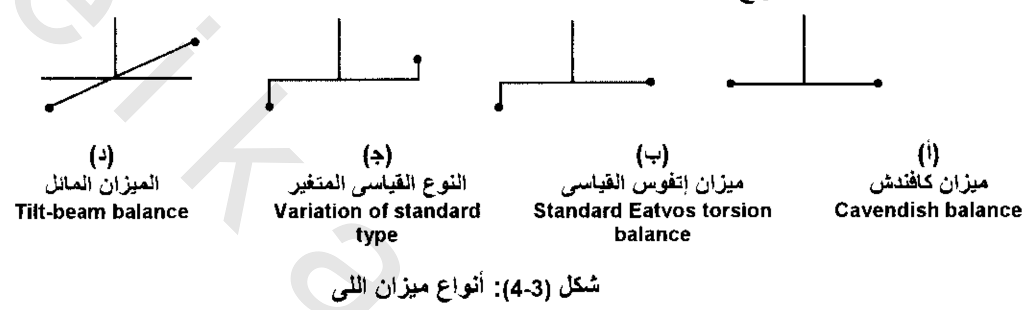
* خطوط تسامقية أو خطوط مقفلة ذات قيمة متساوية.

2.4.3 أجهزة قياس الجاذبية على الأرض Instruments for Measuring Gravity on land:

فى التنقيب الجاذبى (التثاقلى)، تستخدم ثلاثة أنواع من الأجهزة هى:

1.2.4.3 ميزان اللى Torsion Balance:

يتكون من وزنين متساويين متصلين بقضيب صلب ويعلق هذا النظام بواسطة سلك لى وبهذه الطريقة يكون النظام حر للدوران فى المستوى الأفقى حول السلك. ولإستخدام هذا النظام لقياس الجاذبية يجب أن يكون سلك اللى فى حالة إتزان لكى تكون حركة الكتل رأسية. ويوضح شكل (3-4) أنواع موازين الل يستخدم ميزان كافندش Cavendish أساسا لتعيين قيم الجاذبية الثابتة (المطلقة)، ولأن ميزان لى إتفوس Eatvos به وزن رأسى لذلك يمكنه قياس معدل التدرج.



شكل (3-4): أنواع ميزان اللى

2.2.4.3 بندول الجاذبية The Gravity Pendulum:

يوجد عدة أنواع من هذا البندول لقياس كلا من قيم الجاذبية المطلقة والنسبية.

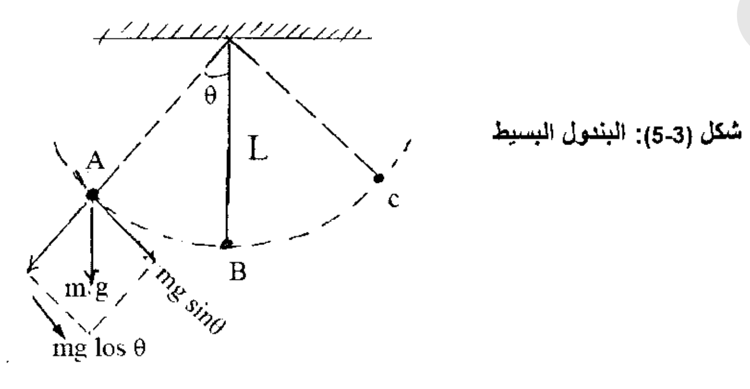
1.2.2.4.3 البندول البسيط Simple Pendulum:

يتكون من كتلة صغيرة ثقيلة معلقة بواسطة خيط مرن تماما، قابل لتغير الطول شكل (3-5)، ويكون زمن الذبذبة الكاملة

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \qquad (3\text{-}3)$$

حيث ℓ = طول الخيط & g = عجلة الجاذبية.

ملحوظة: θ زاوية الحركة يجب أن تكون صغيرة جدا



شكل (3-5): البندول البسيط

2.2.2.4.3 البندول المركب The Compound Pendulum:

عبارة عن جسم صلب (متوازى مستطيلات سمكه صغير) وبه عدة ثقوب ويعلق بواسطة محور أفقى فى أحد ثقوبه ويتحرك من خلال زاوية صغيرة مع إهمال الإحتكاك شكل (3-6)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{mgA}} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث A = كمية عزم القصور الذاتى للبندول حول نقطة التعليق

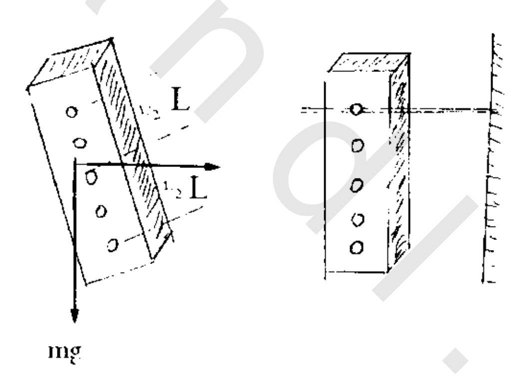
m = الكتلة، ℓ = الطول من نقطة التثبيت لمركز كتلة البندول، g = عجلة الجاذبية

$$\frac{4\pi^2 \ell l}{9AT^2} = g$$

لقياس الفرق (Δg) فى الجاذبية بين محطتين يقاس فرق الزمن (ΔT) بين المحطتين المرصودتين، حيث T_1 الزمن عند المحطة الأولى، T_2 الزمن عند المحطة الثانية.

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 2\,c\,\frac{\Delta g}{\sqrt{g_1 g_2}} \qquad (3\text{-}5)$$

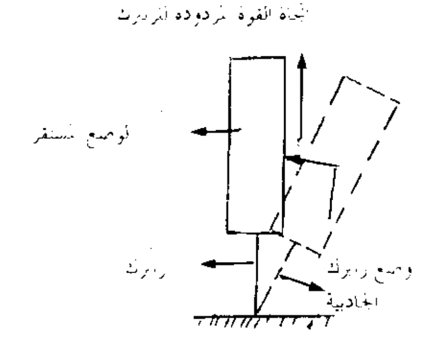
حيث $\frac{2\pi\sqrt{\ell}}{\sqrt{mA}} = c$



شكل (3-6): البندول المركب

3.2.2.4.3 بندول هولويك –ليجوى Holweck-Lejoy Pendulum:

هو بندول معكوس مكون من قضيب رأسى مدعم من أسفل بواسطة زنبرك صلب. فعندما يجذب أعلى القضيب جانبا كما فى شكل (3-7) فإن القوة المردودة للزنبرك تعاكس قوة جاذبية القضيب وتكون الأخيرة فى إتجاه الإزاحة. وكلما زادت الإزاحة زادت مركبة الجاذبية المعاكسة القوة المردودة. وتكون النتيجة زيادة الفترة، ولذلك تعتبر أكبر من إذا استخدم القضيب كبندول فيزيائى. وممكن ملاحظة أن الفترة الزائدة تصنع حساسية كبيرة لتغير صغير فى الجاذبية من المحصول عليها كبندول فيزيائى. يستعمل فى تحديد جيودسياء الجاذبية وفى التنقيب البترولى.



شكل (3-7): بندول هولويك ــليجوى المعكوس

3.2.4.3 الجرافيمترات (مقياسات التثاقلى) The Gravimeters:

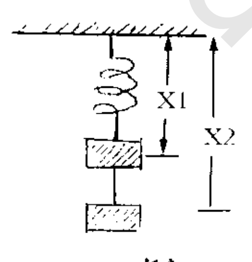
تقيس هذه الأجهزة بدقة حوالى جزء من المليون من قيمة الجاذبية المطلقة ويوجد نوعان من مقياسات التثاقل:

1.3.2.4.3 الجرافيمتر الثابت (مقياس التثاقل الثابت) Stable Gravimeter:

يتكون من كتلة ثقيلة وصلبة (m) متصلة بزنبرك مرن ليتجاوب مع التغير فى الجاذبية والإزاحة من وضع الإتزان، حيث تتناسب مباشرة مع التغير فى الجاذبية كما فى شكل (3-8). والمعادلة المستخدمة للقوة المردودة للوزن من الزنبرك تكون

$$F = -c\,(X_2-X_1) = mg \qquad (3\text{-}6)$$

حيث (X_2-X_1) =فرق إمتداد الزنبرك & C = ثابت الزنبرك.

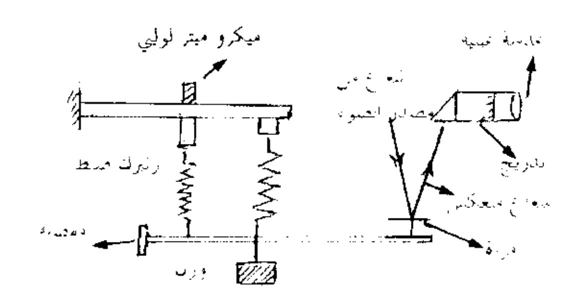


شكل (3-8):

وحيث أن الكتلة ثابتة فإن أى تغير فى الجاذبية تتناسب مع التغير فى إستطالة الزنبرك ومن أمثلة هذا النظام:

2.3.2.4.3 هارتلى جرافيمتر Hartly Gravimeter:

يوضح شكل (3-9) هذا الجهاز وفيه تكبر الحركة الرأسية للكتلة المعلقة حوالى 50,000 مرة. وعندما يطول أو ينقص طول الزنبرك الأساسى بواسطة تغير الجاذبية الناتجة من تغير حركة الكتلة والتى يمكن رجوعها لوضعها الأصلى بواسطة الميكوميتر اللولبى. وتقرأ كمية حركة الميكرومتر اللولبى على التدرج والتى تعطى اختلاف الجاذبية من حركة الوزن هذه القياسات لها دقة فى حدود 1 ميللجال.



شكل (3-9): قطاع لمقياس جاذبية هارتلى

3.3.2.4.3 الجرافيمتر المتغير (مقياس التثاقل المتغير) Unstable Gravimeter:

هذه الأنواع من مقاييس التثاقل صممت لتلاشى الزيادة فى قوى أخرى ناتجة عن الإزاحة القياسية فى مكان الإتزان بسبب التغير فى الجاذبية ومن أمثلة هذا النظام:

4.3.2.4.3 مقياس تسين التثاقلى Tyssen Gravimeter:

يوضح شكل (3-10) أساس هذا الجهاز حيث أنه بالنسبة لإزاحة قليلة ينتج ثلاث قوى.

1- قوة الجذب والتى تميل الكتلة = $A(g-g_1)$.

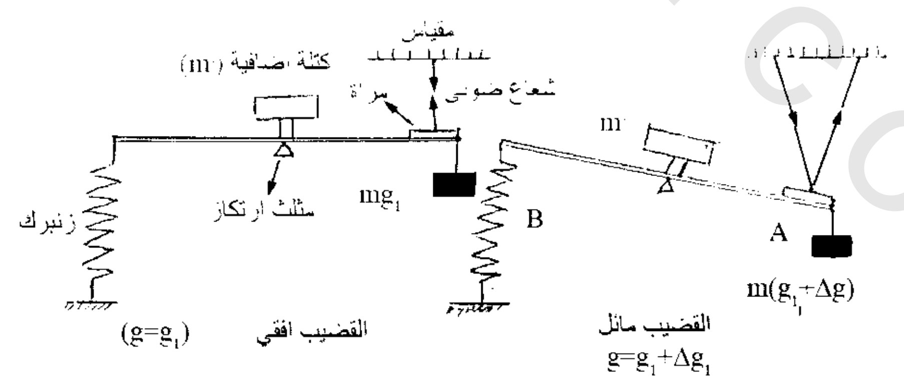
2- قوة المرونة = ñBX حيث X إزاحة الكتلة فى محطة القياس من المحطة الأساسية (الأولية).

3- القوة الناتجة من الكتلة الإضافية (m`X) عندئذ تكون محصلة هذه القوى على الكتلة فى حالة الإتزان.

ومن الواضح أنه إذا كانت B = m` فإن حساسية الجهاز $\frac{A}{(B-m`)}$ ممكن زيادتها إلى أى قيمة مرغوب فيها. ودقة هذا الجهاز فى حدود 0.25 ميللجال.

$$A(g-g_1) \; ñ \; X(B-m`) = zero$$

$$A(g-g_1) = X(B-m`)$$

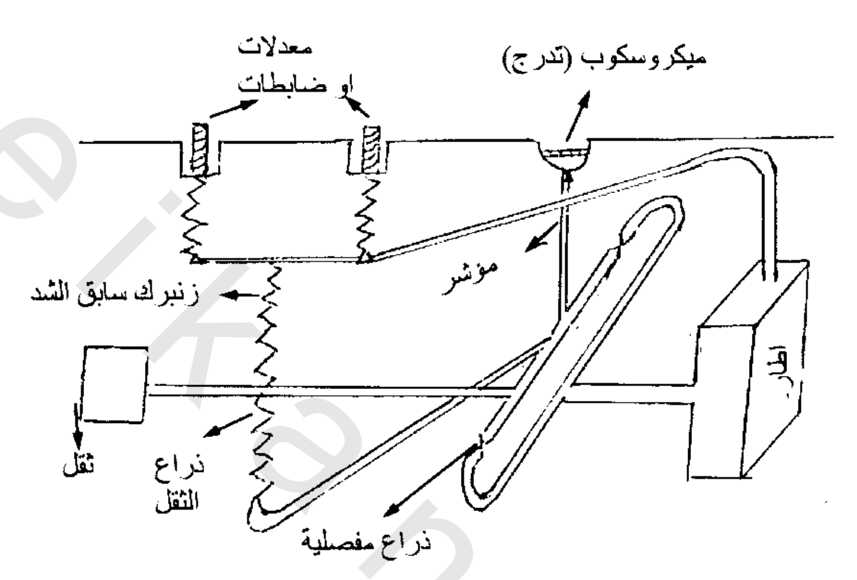


شكل (3-10): مقياس تسين التثاقلى

$$\therefore X = \frac{A}{(B-m`)}(g-g_1) \qquad (3\text{-}7)$$

5.3.2.4.3 جرافيمتر ووردن (مقياس ووردن التثاقلى) Worden Gravimeter:

من أهم وأوسع الأجهزة إستخداما، وهو جهازملائم، خاصة فى أغراض البحث والتنقيب (وزنه حوالى 6.9 كجم ودقته حوالى 0.01 ميللى جرام) ويجب ملاءمته لدرجة الحرارة* وخواص الإنحراف. ويوضح شكل (11-3) رسم خطى لقطاع فى هذا الجهاز



شكل (3-11): قطاع خطى لجهاز ووردن (قاعدة تشغيل مقياس ووردن للجاذبية)

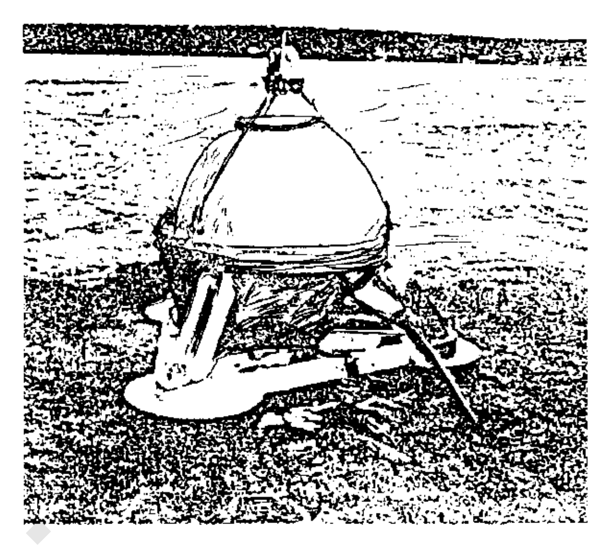
4.2.4.3 أجهزة لقياس الجاذبية فى البحر Instruments for Measuring Gravity at Sea:

يوجد نوعان من هذه الأجهزة نوع مغطى بغلاف ضد الماء ويتدلى من المركب إلى قاع الماء وتقرأ القراءة على ظهر المركب. والآخر يقيس الجاذبية على ظهر المركب حيث يركب على قاعدة ثابتة ويضاف له معدات أخرى لتقليل حركة المركب على القيمة المقاسة.

1.4.2.4.3 أجهزة الأعماق Bottom Meters:

إستخدمت فى الرصد البحرى من مدة طويلة من عام 1941 وما تزال تستخدم حيث أن الشاذة المقاسة بها يكون لها إمتداد مساحى صغير (مثل الناتجة من قبة ملحية) وينتج بذلك مساحات لها قراءات بأكبر دقة ممكنة.ويعتبر جهاز لاكوست ورمبرجى Lacoste and Rombergy type من أكثر الأجهزة إنتشارا. ويوضح شكل (3-12) هذا الجهاز أثناء إنزاله فى الماء، يضاف له نظام يعادل الحركة الرأسية للقاع ويعطى قراءة الجاذبية أتوماتيكيا إلى وحدة رقمية على ظهر الباخرة والدقة لهذا النظام فى ظروف بحرية جيدة تكون 0.1 ميللى جال.

* اختلاف درجة حرارة مقدارها 0.002° تسبب تغير مقداره 0.025 ميللجال.



شكل (3-12) جهاز لاكوست ورمبرج لقاع الماء حين إنزاله فى الماء من باخرة Lacoste & Romberg

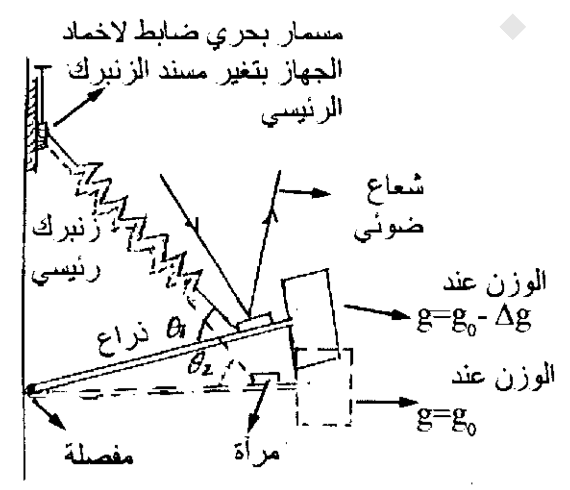
2.4.2.4.3 أجهزة محمولة على الباخرة Shipborne Meters:

المشكلة الرئيسية فى هذه الحالة هى حركة الباخرة لذلك فإنه يلزم معادلة العجلات المصاحبة لحركة الباخرة، وهذه تتوقف على نوع الباخرة وحالة البحر حيث يكون هناك مركبتين أفقيتين ومركبة رأسية وتأتى الحركة الأفقية من التموج وتمايل المركب والرأسية تأتى من البحر. وعادة يمكن فصل الحركات الأفقية بواسطة قاعدة ثابتة جيروسكوبية وذلك باستخدام مسرعات تعمل على حفظ القاعدة أفقية لبضع ثوان. والحركة الرأسية يمكن إزالتها بإدخال جهاز تخميد يؤدى إلى ثبات الجهاز لوقت طويل (حوالى خمس دقائق).

3.4.2.4.3 مقياس لاكوست ورمبرج المحمول على الباخرة

LaCost, Romberg Shepborne Gravimeter:

له نفس التركيب الأساسى لجهاز القياس على اليابسة شكل (3-13) بالإضافة لتزويده بجهاز معوق لحركة الزنبرك (damping device) وهو بذلك يقيس عجلة الجاذبية بالإضافة لعجلة الحركة الرأسية الناتجة من التموج ثم يفصل عجلة التموج من العجلة الكلية المقاسة وبذلك يمكن الحصول على العجلة التثاقلية الأرضية.



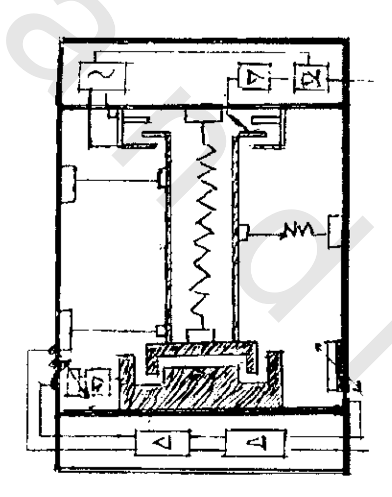
شكل (3-13): تشغيل مقياس لاكوست وررومبرج الأرضى (تخطيطى)

4.4.2.4.3 جرافيمتر أسكانيا البحرى Asknia Sea Gravimeter:

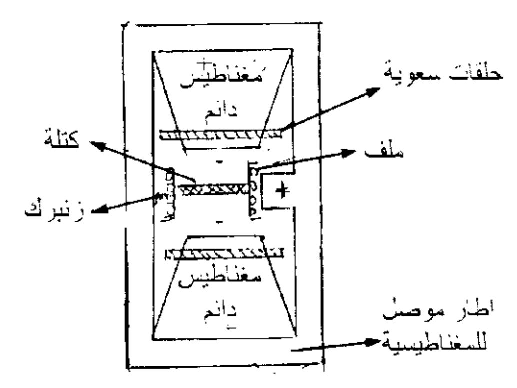
يوضح شكل (3-14) قطاع فى هذا الجهاز حيث يتكون من عمود أفقى متحرك ومزود بمغناطيس قوى لإعاقة الحركة الناتجة عن تموج البحر. الجهاز مزود بمكثفات كهربية لالتقاط حركة الزنبرك وتكبيرها مع عدد من مقومات التيار بالإضافة إلى بعض الدوائر الكهربية التى تغذى الجهاز بقصد حذف تأثير حركة الأمواج الرأسية، أخيرا تم تطويره بحيث يسمح فقط بالحركة الرأسية للزنبرك.

5.4.2.4.3 جرافيمتر بل البحرى Bill Shipborne Gravimeter:

شكل (3-15) يوضح أساسيات هذا الجهاز حيث يتكون من كتلة محاطة بملف ومعلقة بثلاثة زنبركات وتقع هذه الكتلة بين لوحى مكثف على حلقتين ومحاط بمغناطيسين مخروطى الشكل قويين جدا ومتعاكسى الاتجاه والمجموعة كلها موضوعة فى إسطوانة معدنية تسلك سلوك ملف ينتج عنه مجال مغناطيسى وبمرور تيار كهربى متردد فى الملف المحيط بالكتلة ينتج عنه مجال مغناطيسى متردد. ويضبط هذا المجال بحيث يكون له سعة وتردد تساوى سعة وتردد الحركة فى الزنبرك ويعاكسها فى الإتجاه أى بفرق طول نصف دورة أى يصبح هناك نوع من التوازن الغير مستقر للزنبرك فإذا تغيرت عجلة التثاقلية الأرضية من نقطة قياس لأخرى كبرت حركة الكتلة والزنبرك الحامل لها. هذه الحركة تسجل وتقاس بالتغير فى سعة المكثفين الحلقيين الموجودة بينهما الكتلة. يؤخذ التغير فى السعة ويترجم رقميا إلى تغير فى عجلة الجاذبية.



شكل (3-14): أساس تشغيل مقياس الجاذبية البحرى لاسكانيا



شكل (3-15): أساس تشغيل مقياس الجاذبية بل المحمول بالباخرة

5.2.4.3 قياس الجاذبية فى الآبار Gravity Measurements in Wells:

يتم هذا القياس بنوعين من الأجهزة.

1.5.2.4.3 مقياس جاذبية اسو للآبار Esso Borehole Gravitymeter:

يتكون هذا الجهاز من كتلة بلاتينية تعلق فى خيط من التنجستن (بندول) فى فراغ. ويركب فى علبة إسطوانية ذات أبعاد تسمح لها لتبقى رأسية فى الآبار التى تنحرف عن الرأس حتى 4° والقطر الخارجى للجهاز10.2 سم، وتحفظ ترموستات درجة الحرارة عند 125° درجة مئوية وهى درجة أعلى من درجة الحرارة المحيطة والمتوقعة عند أى عمق فى البئر وتقاس اختلاف الجاذبية بتحديد الزمن الدقيق المطلوب لعدد محدد من الذبذبات 10^5، $2x10^5$، $3x10^5$ ...إلخ وكلما زادت فترة القياس زادت الدقة فى قيمة الجاذبية ويلزم 20 دقيقة لأخذ قراءة جاذبية جيدة إلى 0.01 ميللجال.

2.5.2.4.3 جرافيمتر USGS:

أنتجته شركة لاكوست-رومبرج بالتعاون مع المساحة الجيولوجية الأمريكية U.S. Geological Survey ومصمم بنفس أسلوب الأجهزة الأرضية والمحمولة بالباخرة ويركب على ذات المحورين المركب عليهم الجزء الحساس زنبرك صغير أطول من الجزء الحساس ومسمار محورى للضبط الخاص ليعطى مدى واسع للقراءات، ويمكن تسويته لانحراف البئر حتى 6.5° مع الرأسى. وتحفظ درجة الحرارة بواسطة ثرموستات عند درجة 101°م. وتقاس الجاذبية بتصفير الجهاز ويلزم 5 دقائق للحصول على القراءة بدقة 0.01 ميللجال. وحيث أن زيادة درجة الحرارة تكون عادة منتظمة مع عمق الجهاز فإن هذا التأثير يمكن أن يدخل فى الأطراف ويمكن فصله بنفس الطريقة مثل باقى تأثيرات الإنحراف.

6.2.4.3 المسح التثاقلى (الجاذبى) الجوى Airborne Gravity Surveying:

هناك بعض الصعوبات لتصميم وعمليات المسح الجوى يجب أن تحل لجعله ممكنا. وهذه الصعوبات تشبه المواجهة فى عمليات المسح البحرى، ولكن أكثر مبالغة للسرعة الكبيرة للطيران. مثل ذلك، تصحيح إتفوس Eotvos يكون أكثر من 1000 ميللجال عندما تكون سرعة الطيران حوالى 400 كم/ساعة.

تم عمل أول جهاز (جرافيميتر طيرانى) لقياس الجاذبية الجوية عام 1958. وقد تم أول اختبار للمسح الجوى فى كاليفورنيا حيث كانت القياسات تتم بواسطة محطة رصد أرضية. ولضبط قياسات الجاذبية بعناية يجب التحكم فى الطيران خلال 10 ميللجال. فى الإختبارات المتتالية تحسنت أجهزة الطيران بواسطة جرافيميتر وجرو المتزن، بحيث يكون ضبط الدقة لمدى قليل من الميللجالات والتى يحصل عليها خلال طقس هادئ على طول طرق جيدة للعلامات.

فى عام 1971 بدأت عملية الحركة بطائرة هليوكوبتر حيث يكون الطيران بسرعة بطيئة وذلك لإقلال تصحيح أتفوس وأخطاء الطيران. وقد وجد أنه مازال، عند سرعة 100 كم/ساعة يكون تصحيح اتفوس أكثر من 375 ميللجال، معتمدا على خطوط العرض وإتجاه الطيران تبعا للمعادلة

$$E = 7.508\ V \cos\varphi \sin\beta + 0.00405\ V^2 \qquad (3\text{-}8)$$

حيث E = تصحيح اتفوس & V = السرعة & β = زاوية الطيران بالنسبة للشرق والغرب ، E تكون موجبه لإتجاه الشرق (180 > β > O) وتكون سالبة لاتجاه الغرب (O<β<180).

عند أخذ قياسات الجاذبية أثناء عبور منطقة قريبة من خط الإستواء عند إتجاه السرعة شرقا وغربا فإنها تختلف بمقدار 750 ميللجال بدون تصحيح اتفوس المناسب.

وبسبب الصعوبات فى حسابات التغير من دقيقة لدقيقة فى الإتجاه والسرعة يكون هناك أخطاء لعدة ميللجالات فى تصحيح اتفوس ويكون هذا الخطأ محتمل إلا فى حالات مسح نموذجى.

هناك تأثيرين لاشتراط حدين آخرين على المسح الجاذبى الجوى.

الأول: تأثير تحرك الجرافيمتر أبعد من مصادر لتغير شذوذ الجاذبية على سطح الأرض وهذه تؤدى لتقليل عشرات الميللجال عند مستوى مسح جوى ربما عند إرتفاع قدره 1000 متر.

الثانى: يكون تأثير التضاريس، حيث يكون للظواهر الطوبغرافية والقريبة لها على سطح الأرض جذب قوى أكثر من نفس الظواهر الأبعد، ويتلاشى الإختلاف عند إرتفاع مستوى الطيران، لذلك لابد من عمل مجهود كبير للحساب المناسب لأكثر بعدا عن التضاريس.

بالرغم من هذه الصعوبات فإن المسح الجاذبى الجوى بطائرات الهيليكوبر أحدث مسح اكتشافى جاذبى نافع عندما تكون الدقة خلال عدة ميللجال قليلة مطلوبة. للعمليات الحديثة، يثبت جرافيمتر خامد كبير على اطار جيرو ثابت ويحمل بواسطة طائرة هيليكوبتر كبيرة. وتقوم أجهزة الملاحة الجوية الإلكترونية بإعطاء تسجيلات مستمرة لتغيرات المكان، والمقياس الرادارى يقيس باستمرار الإرتفاع من على سطح الأرض.

3.4.3 قياس المجال التثاقلى وتحويل (تصحيح) قراءات الجاذبية لمستوى سطح البحر

Gravity Field Measurements and Reductions (Corrections) of Gravity Readings to Sea Level:

حيث أن قياس التثاقلية تتم عند نقطة مختلفة بعض منها فى أراضى منخفضة عن سطح البحر والأخرى على الجبال وبعضها فى البحار والمحيطات فهى بذلك تكون غير مقارنة لذلك فمن الضرورى قبل إستخدام مثل هذه القياسات التثاقلية للأغراض العملية يجب تحويلها (تصحيحها) إلى موافقة لمستوى إسناد واحد، عادة ما يكون سطح البحر.

1.3.4.3 قياس التثاقلية على الأرض Measurement of Gravity on Land:

1.1.3.4.3 تحديد أماكن المحطات Determing Station Locations:

يعتمد تحديد أماكن المحطات والمسافة بينهما على الآتى:

1) سهولة الإنتقال لأماكن المحطات ويعتمد هذا العامل على طبيعة الأرض وتوزيع الطرق والعوائق الطبيعية (مثل الأنهار والمستنقعات والأماكن الوعرة). لذلك فإنه تجرى عمليات المسح بحيث يمكن الوصول للأهداف على الطرق السهلة لكى تكون عملية المسح أكثر اقتصادا.

2) النظام النسقى للمحطات: يصمم بحيث يكون المسح أقرب لتكوين شبكة مربعات كلما أتاحت الظروف ذلك. وتخضع هذه الشبكة للعمق والامتداد الجانبى للظواهر الجيولوجية المطلوب البحث عنها. فمثلا فى حالة البحث عن التركيبات البترولية (طيه محدبة) قبة ملحية، فالق) والموجودة على أعماق تتراوح لأكثر من ميل فإن المسافة بين المحطات المكونة لشبكة العمل تكون من ميل إلى نصف ميل أو من كيلومتر إلى نصف كيلومتر. أما إذا كان البحث يختص بخامات معدنية مثل كتل الكروميت فإن المسافة بين محطات الشبكة يكون من 10 م إلى 100 م. وإذا كان البحث خاص بالأعمال الهندسية مثل بناء السدود والكبارى والطرق والأبنية الضخمة والمصانع والمحطات النووية والبحث والتنقيب عن المياه الجوفية فإن المسافة بين المحطات تكون من 5 م إلى 20 م. فى حالة البحث والتنقيب عن الآثار فإن المسافة بين محطات الشبكة تتراوح من 1 م إلى 10 م.

2.1.3.4.3 المسح الأرضى Ground Survey:

عند إجراء عملية المسح يجب معرفة مكان المحطة وارتفاعها بدقة. وتعتمد طرق المسح على مقياس الرسم لكل من الخرائط الجيولوجية والطوبغرافية وشبكة الإرتفاعات. وتعتمد درجة الدقة المطلوبة لحساسية قراءة الجاذبية إلى الإرتفاع وخط العرض، ويمكن أن تتم الدقة المطلوبة لإرتفاع 0.1 قدم لإرتفاع المحطة النهائية (للقياس) بواسطة تقريب المسافات لأماكن القياس وتقصير الأطوال على الميول. وعادة ما يكون فى أى دولة نقطة قياس دولية غالبا ما تكون فى أرض أحد المطارات أو فى المرصد الجيوفيزيقى، أو يكون هناك عدة نقط مقاسة أعدها المشتغلون بالقياسات التثاقلية. وعند بدء المسح تؤخذ محطة أولية عند أقرب نقطة أساس دولية أو محلية وتسمى محطة الأساس (Base station) ثم بعد ذلك تؤخذ نقطة أصل (Base point) مختارة فى الموقع المراد إجراء المساحة التثاقلية له. عند هذه النقطة تؤخذ القراءة أكثر من مرة فى أوقات مختلفة من النهار أثناء إجراء القياسات فى محطات أخرى لمعرفة إنحراف الجهاز Instrumental drift، أما فى مشاريع القياس الجاذبى على الشواطئ فإنه يتطلب نظام راديو أو رادارى متقن لتحديد أماكن المحطات.

3.1.3.4.3 ضبط الإنحراف Adjustment for Drift:

قراءة الجهاز للقيمة التثاقلية فى الحقل يتطلب تصحيح الإنحراف له وذلك لاختلاف القراءة لنفس المحطة على طول يوم المسح بتغير الزمن ودرجة الحرارة، ويتم هذا التصحيح كالآتى:

1- تؤخذ قراءة أو محطة وتعتبر هذه المحطة محطة الأساس.

2- تؤخذ قراءة المحطات التالية بمسافات حسب طريقة البحث والمادة الخام المراد البحث عنها.

3- بعد أخذ قراءة عدة محطات (ولتكن 5 محطات) يعاد مرة ثانية إلى أخذ قراءة أول محطة.

4- ثم بعد أخذ عدة قراءات لمحطات أخرى (حوالى 5 محطات أخرى) يعاد مرة ثانية لأخذ قراءة أول محطة (محطة الأساس).

5- تكرر هذه العملية عدة مرات إلى أن ينتهى خط المسح أو ينتهى يوم المسح.

6- تسجل هذه القراءات فى علاقة بيانية، المحور الأفقى فيها يمثل الزمن (التغير اليومى) والمحور الرأسى يمثل قراءة الجهاز (شكل 3-16).

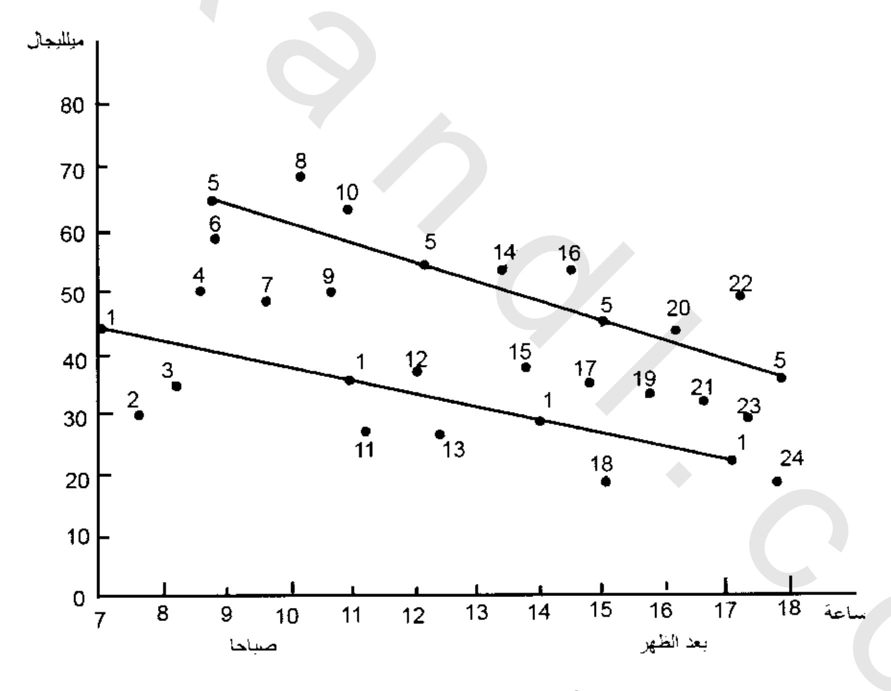
7- لزيادة التأكد من ضبط الإنحراف تؤخذ محطة أخرى كأساس آخر ولتكن المحطة رقم 5 ويعاد إليها القراءات أيضا وتسجل هذه القراءات فى علاقة بيانية كما شكل (3-16) ثم توصل هذه القراءات ويمثل الخط الناتج من التوصيل إنحراف أيضا للجاهز. إذا كان هذا الخط الناتج (للمحطة رقم 5) يوازى أو تقريبا يوازى محطات الخط رقم (1) فهذا يدل على أن إنحراف الخط رقم (1) مضبوط تقريبا.

8- لضبط الإنحراف من الشكل (3-16) تعاد جميع القراءات المأخوذة طول اليوم إلى خط الإنحراف للمحطة رقم (1).

2.3.4.3 قياس الجاذبية فى المساحات المغطاة بالمياه

Measurement of Gravity in Water-Covered Areas:

قياس الجاذبية فى المساحات المغطاة بالمياه يكون صعبا نوعا ما حيث أن الجهاز الموضوع على سطح المركب يتأثر بعجلة حركة المركب المتوثرة بحركة المياه والتى لايمكن فصلها عن عجلة الجاذبية. أما الأجهزة التى تقيس فى قاع المياه فإذا كانت المياه ضحلة فإنها تتأثر بحركة الأمواج أما إذا كانت المياه عميقة فإن ضغط الموجه وتأثيرها ينقص بزيادة العمق ونقصان زمن الموجه، وللتغلب على هذه الصعوبات فالأجهزة السابق عرضها صممت بحيث تتلاقى بقدر الإمكان هذه الصعوبات. هناك طريقتين لقياس الجاذبية فى المساحات المغطاة بالمياه:



شكل (3-16): العلاقة بين تغير الزمن اليومى والتغير فى قراءة الجهاز

1.2.3.4.3 قياسات بمقاييس محمولة على الباخرة:

تؤخذ قراءات الجاذبية فى هذه الحالة بإستمرار أثناء سير الباخرة وتعتمد دقة هذه القراءات على الآتى:

1- ثبات سرعة الباخرة.

2- مسارها فى طريق مستقيم كلما أمكن ذلك ، بعيدة عن الإتجاه شرق-غرب حيث أن هذا الإتجاه يحدث زيادة أو نقصان فى العجلة المركزية للأرض تبعا ما إذا كانت حركة السفينة فى إتجاه أو ضد دوران الأرض.

3- إستخدام معادلة اتفوس Eotvos لتصحيح قراءة الجاذبية والتى تعتمد على سرعة الباخرة وخط عرضها ϕ وإتجاه مسارها α بالنسبة لإتجاه شمال-جنوب حيث

$$\Delta gz = 7.487\ V \cos\phi \sin\alpha \qquad (3\text{-}9)$$

حيث V السرعة بالعقدة، Δgz بالمليجال. هذا التصحيح موجب عند مسار السفينة فى إتجاه الشرق وسالب عند مسارها غربا. كذلك خطأ واحد عقدة فى سرعة تحرك السفينة شرق-غرب على خط الإستواء ينتج خطأ مقداره 7.5 ميللجال، وهذا كبير فى الأغراض الإستكشافية.

4- حالة البحر:

أ) هادئ جدا: يجب عدم زيادة الخطأ عن 0.5 ميللجال عند نقط تقاطع القياس لشبكة المسح.

ب) بحار عنيفة الحركة: يجب عدم زيادة الخطأ عن 0.7-1 ميللجال عند نقط تقاطع القياس لشبكة المسح.

ج) بحار عنيفة جدا: يجب وقف عملية المسح.

2.2.3.4.3 قياس بمقاييس القاع:

عندما يصل مقياس القاع (جهاز لاكوست) للقاع تتم تسويته بنظام مؤازر داخلى وتؤخذ القراءة من لوحة متصلة بالجهاز وموضوعة فى حجرة دفة المركب. وتعتمد دقة القراءة على حركة قاع البحر الذى يتأثر بحركة الأمواج المائية وضغط الماء عليه وهذا التأثير يقترب لفترات طويلة (مثل فترات المد والجذر). خلال المدى المعتاد فإن ضغط الموجه وتأثيرها ينقص بزيادة العمق ونقصان زمن الموجه. لذا فتأثير الموجه لايؤخذ فى الإعتبار إلا فى المياه الضحلة، والقاع الرخو سوف ينقل حركة الموجه إلى المقياس أكثر من القاع الصلب.

4.4.3 تحويل أو تخفيض (تصحيح) قراءات الجاذبية لمستوى سطح البحر:

Transformation of Reduction (Correction) of Gravity Reading to the Sea Level:

قبل إستخدام قياسات الجاذبية المنظورة (الملاحظة) للأغراض التطبيقية يجب تحويلها أو تخفيضها (تصحيح) بطريقة ملائمة لمستوى الإسناد (سطح البحر) والتصحيحات هى:

1.4.4.3 تصحيح خط العرض Latitude Correction:

حيث أن الأرض بيضاوية الشكل لذلك يلاحظ أن الجاذبية تزيد فى إتجاه الأقطاب*، ويلاحظ وجود اختلاف فى الجاذبية بين محطة القياس ومحطة الأساس بسبب اختلاف خطوط العرض بينهم ويكون التصحيح.

$\Delta g\varphi = 0.81 \sin 2\varphi$ ميللجال/10 م (فى إتجاه شمال-جنوب)

$= 0.024 \sin 2\varphi$ ميللجال/10 قدم (فى إتجاه شمال-جنوب)

حيث φ مرجع مستوى خط العرض (الأساسى)*. إذا كانت المحطة على خط عرض عالى** (تكون شمال محطة القاعدة وكلاهما فى نصف الكرة الشمالى فإن هذا التصحيح يكون سالب. أما إذا كانت المحطة فى إتجاه

* بما أن الأرض بيضاوية الشكل فإن أطوال الأقطاب تكون أقصر من خط الإستواء وبتطبيق قانون نيوتن تكون الجاذبية أكبر عند الأقطاب من خط الإستواء.

* ممكن أن تشتق هذه من المعادلة العامة $g = 978.079\,(1+0.0052884 \sin^2\varphi - 0.000059 \sin^2 2\varphi)$ جال

** عمليا يختار خط العرض المرجعى بحيث تصحح جميع القراءات إليه.

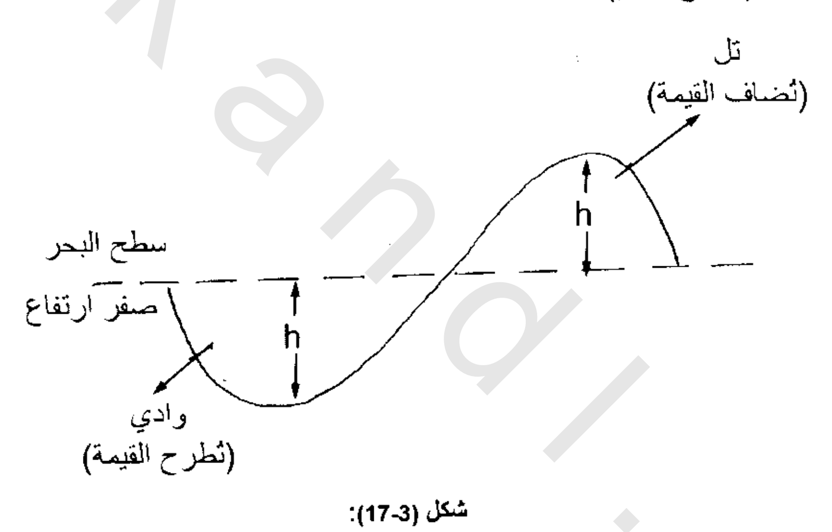
جنوب محطة القاعدة وكلاهما فى نصف الكرة الجنوبى فإن هذا التصحيح يكون أيضا سالب)، وإذا كانت الحالة كما سبق يجب إضافة التصحيح. المعادلة السابقة لاتستخدم لحساب تصحيح خط العرض وراء المسافة شمال-جنوب قرب ٢ ك على جانبى محطة الأساس لأن فرق الجاذبية عندئذ يكون غير متناسب بدقة مع المسافة للوصول للدقة المطلوبة. والتصحيح المضبوط فى هذه الحالة يعطى بواسطة $\Delta g\varphi=51723(\sin^2 \varphi_1-\sin^2 \varphi_o)$ ميللجال، حيث φ_o, φ_1 خطوط العرض للمحطة المقاسة والمحطة الأساسية بالتتابع.

2.4.4.3 تصحيح الإرتفاع Elevation or Free-Air Correction:

يلاحظ أن قوة الجذب الأرضية تقل مع الإرتفاع لذلك فإن أى محطة بارتفاع (h) فوق مستوى الإسناد (سطح البحر = صفر) ستكون لها تأثير جاذبى أقل من الموجودة على مستوى سطح البحر بمقدار يساوى تقريبا $2h/R$*** حيث R نصف قطر الأرض. ويمكن حساب قيمة معامل هذا التصحيح كالآتى:

0.3086 ميللجال (إرتفاع بالمتر)

0.9406 ميللجال (إرتفاع بالقدم)



شكل (3-17):

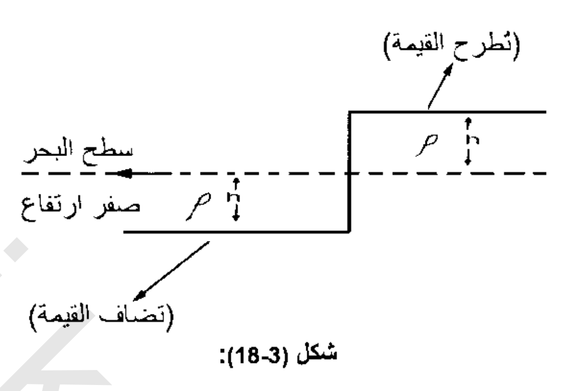
من شكل (3-17) يتضح أن التصحيح يجب إضافته لقياس الجاذبية للمحطة الواقعة فوق مستوى سطح البحر وتطرح من قياس الجاذبية للمحطة الواقعة أسفل مستوى سطح البحر.

3.4.4.3 تصحيح بوجير Bouguer Correction:

بالأخذ فى الإعتبار كتل المواد المؤثرة على الجاذبية والموجودة بين مستوى المحطة ومستوى سطح البحر فإنه يلاحظ أن كتل هذه المواد الصخرية تسبب زيادة فى الجاذبية عند موقع المحطة الموجودة فوق مستوى البحر ولهذا تشير إلى زيادة فروق الجاذبية بينهم.

*** ممكن إيجاد قيمتها من القانون العام للجاذبية.

أما إذا كانت تحت مستوى سطح البحر فإن هذا يؤدى إلى خفض فروق الجاذبية بسبب نقص كتل المواد الصخرية بينهما وبين مستوى سطح البحر كما فى شكل (3-18). فى هذا الشكل إذا اعتبرت المادة كلوح له امتداد جانبى بسمك h وهذا السمك يساوى فرق الإرتفاع فإن تصحيح الجاذبية عند المحطة تعطى كالآتى ميللجال 0.4191h = (h الإرتفاع بالمتر)، ميللجال 0.1277 ρh (h الإرتفاع بالقدم) حيث أن ρ هى كثافة المادة اللوحية بـ كجم/م³ وهذا التصحيح دائما عكس إشارة تصحيح الإرتفاع.

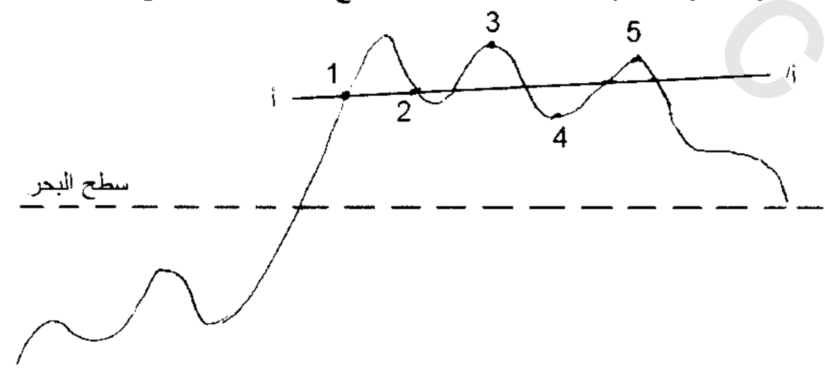


شكل (3-18):

4.4.4.3 تصحيح التضاريس Terrian Correction:

التصحيحين السابقين 2 & 3 متوافقين مع التضاريس المتجاورة للمحطة إذا كانت أفقية. أما إذا وجد اختلاف فى الإرتفاعات (التضاريس) خاصة القريبة من المحطة فإن هذا الإختلاف المحلى للتضاريس يكون له تأثير ملاحظ على قيم الجاذبية المقاسة، ويجب أن يؤخذ فى الإعتبار تصحيح هذه القيم عند هذه المحطة.

يوضح شكل (3-19) حالة محطة واقعة فوق مستوى سطح البحر ويتضح عند تطبيق تصحيح بوجير للوح الصخرى p-p` ومستوى سطح البحر فإنه يفترض أن النقط 1 ,2 ,4 والتى تمثل الإنخفاضات تكون ممتلئة بمواد صخرية. وفى نفس الوقت نفترض أن الإرتفاعات مثل 3 ,5 لايكون لها تأثير جاذبى. فإن غرض تصحيح التضاريس يعوض هاتين الفرضين. والتصحيح العائد للإنخفاض يضاف إلى قيم الجاذبية المقاسة وأيضا التصحيح العائد للآرتفاع يضاف إلى قيم الجاذبية عند المحطة. ولذلك فإن تصحيح التضاريس دائما موجب بصرف النظر سواء وجد إنخفاض بجوار المحطة أو الإرتفاع، ولعمل هذا التصحيح يستخدم خريطة شكل (20-3) ومجموعة من الجداول نشرها همر 1939 Hammer* وتطبع هذه الخريطة على لوحة شفافة.

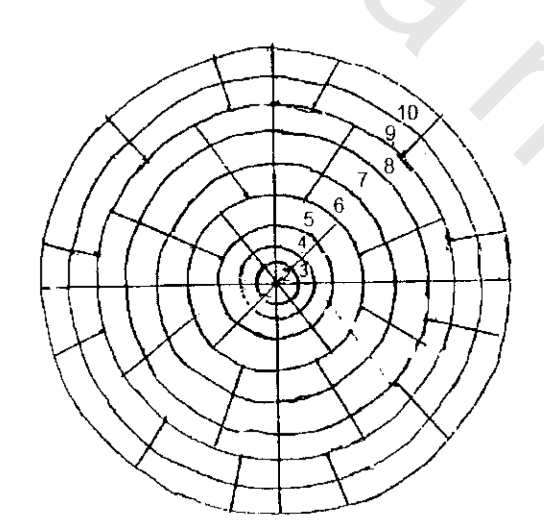


شكل (3-19):

* تمثل هذه الخريطة مجموعة من الدوائر ذات مركز واحد وتمثل هذه الدوائر مناطق حول المركز. وتقسم هذه الدوائر إلى حجرات.

جدول (3-1) تصحيح الدراسات التضاريس (همر Hammer 1939)

نطاق 2 4 حجرات 656-6.56		نطاق 3 6 حجرات 55.8-54.6		نطاق 4 6 حجرات 55.8-54.6		نطاق 5 8 حجرات 55.8-54.6		نطاق 6 8 حجرات 55.8-54.6		نطاق 7 12 حجرات 55.8-54.6	
إرتفاع ± قدم	تصحيح	إرتفاع ± قدم	تصحيح	إرتفاع ± قدم	تصحيح	إرتفاع ± قدم	تصحيح	إرتفاع ± قدم	تصحيح	إرتفاع ± قدم (2)	تصحيح (3)
1.1-0	0	4.3-0	0	7.7-0	0	18-0	0	57-0	0	58-0	0
1.9-1.1	0.1	7.5-4.3	0.1	13.4-7.7	0.1	30-18	0.1	96-27	0.1	100-58	0.1
2.5-1.9	0.2	9.9-7.5	0.2	17.3-13.4	0.2	39-30	0.2	60-46	0.2	129-100	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30-27	15	110-104	15	152-146	15	331-318	15	983-466	15	1046-1009	15



شكل (3-20): (نقطة المركز هى رقم 1)

(1) نصف قطر النطاق بالقدم.

(2) إرتفاع التضاريس بالقدم (بصرف النظر عن الإشارة) ، فى كل حجرة المقابلة لمستوى المحطة.

(3) التصحيح لكل حجر بسبب تراوح تصحيح التضاريس فى وحدات تبلغ 1/100 ميللجال لكثافة مقدارها 2.0 جم/سم^3. وعندما يطبق هذا التصحيح لقيمة شاذة بوجير والمحسوبة بتصحيح بوجير تكون دائما موجبة.

لإجراء هذا التصحيح يتم الآتى:

1- يوضع مركز الخريطة الشفافة (شكل 3-20) على النقطة الممثلة للمحطة على الخريطة الطبوغرافية للمنطقة ويلاحظ أن الخريطة (شكل 3-20) تغطى المناطق المجاورة للمحطة على الخريطة الطوبغرافية.

2- باستخدام الحاسب الآلى لتقدير متوسط إرتفاع التضاريس خلال كل حجرة والاختلاف بينه وبين إرتفاع المحطة وتحديد التأثير الجاذبى أيضا من خلال الحجرات من جدول همر Hammer 1939.

الإستنتاج Conclusion:

من التصحيحات السابقة يتضح أن التصحيح النهائى لتغير الجاذبية لاتعتمد فقط على الإنحراف الأفقى من ثبات الكثافات للصخور التحت سطحية أسفل مستوى الإسناد (سطح البحر)، حيث أن عدم التحقق للتصحيحات يرجع عادة لإختيار الكثافة القريبة من السطح لاستخدامها فى تصحيحات البوجير والتضاريس، خاصة عندما تكون الخواص للتكوينات القريبة من السطح غير منتظمة. وعادة ما يعرف تصحيحات الإرتفاع، البوجير والتضاريس بصافى تصحيح الإرتفاعات (Net Elevation Correction) وعادة ماتحدد كالآتى:

$$N.E.C = K\,h + T = \pm(0.09406 \text{ ñ } 0.1277\,\rho)h + T \qquad (3\text{-}10)$$

5.4.3 تحويل معلومات التثاقلية (المخففة) أو التصحيحات إلى شواذ تثاقلية

Conversion of (Reduced) or Correction Gravity Information Into Gravity Anomalies:

حتى بعد تخفيض أو تصحيح قراءات الجاذبية الملاحظة سابقا عند أى محطة من أجل صافى تصحيح الإرتفاعات. فما زال يلاحظ إنحراف خفيف لتصحيح قيمة قراءة الجاذبية النظرية بالنسبة لقيمة الجاذبية الكروية عند خطوط العرض والطول عند المحطة. هذا الإنحراف والذى عين سابقا كشذوذ جاذبى والمصاحب واقعيا لمكان القياس يرجع إلى حقيقة أن الأرض ليست متجانسة ولكن مختلفة اعتباريا فى توزيعها الأفقى لتغير الكثافة رأسيا.

1.5.4.3 شذوذ بوجير Bouguer Anomaly:

إذا كانت قراءة جهاز الجرافيمتر عند المحطة S_1 وعند مستوى سطح البحر S_o فإن الإختلاف الملاحظ هو $K(S_1\text{-}S_o)$ حيث K ثابت معيارى للجهاز (وحدات جاذبية لكل قسم من المقياس)، وهذا الفرق الملاحظ هو Δg (القيمة المقاسة). وبفرض أن القراءة قد صححت بالنسبة لانحراف الجهاز كما تم سابقا فبتطبيق التصحيحات السابقة (تصحيح خط العرض، الإرتفاع، بوجير، التضاريس) فإن اختلاف الجاذبية السابق يصبح

$$\Delta g = \Delta g_{obs.} \pm \Delta g_{\varphi} \pm (0.9406 \text{ ñ } 0.1277\rho)h + T\rho \qquad (3\text{-}11)$$

إشارة الموجب أو السالب لتصحيح خط العرض Δg_{φ} تؤخذ كما فسرت سابقا. ويطلق على اختلاف التصحيح الكلى و Δg شذوذ بوجير النسبى عند المحطة المقاسة.

6.4.3 تحديد الكثافة Density Determination:

يعتمد شذوذ بوجير فى تطبيقه كثيرا على فروض كثافات الصخور أو بالأحرى على فروق الكثافات بين الصخور. عامة، وبرغم صغر هذه الفروق فمن المهم تحديد الكثافات خلال مسح المنطقة بدقة كلما أمكن ذلك، حيث يتضح من المعادلة (3-11) أن كل معلومات الإرتفاعات وخطوط العرض تكون متاحة ببساطة ماعدا الكثافة. وتوجد عدة طرق لتحديد الكثافات.

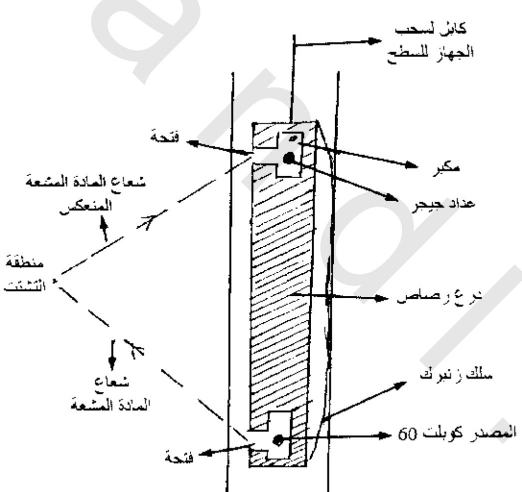
1.6.4.3 طرق مباشرة Direct Methods:

1.1.6.4.3 عينات صخرية:

فى بعض المسوح يكون من الضرورى قياس الكثافة مباشرة وذلك إما بعينات صخرية من المنكشفات الصخرية، من المناجم، من حفر الآبار، وذلك بواسطة بيكنومتر Bicnometer (مقياس الكثافة) أو ميزان تشوازر أوجالى Schwars or Jally Balance وفيه يتم تحديد الكثافة بواسطة إحلال الماء.

2.1.6.4.3 ثقل الكثافة Density Logger:

هذه الآلة ملائمة لصناعة البترول لقياس كثافة التكوينات فى الآبار. وهى تتكون من مصدر مشع (كوبالت 60) فى أسفل الجهاز وأعلى الجهاز يوضح كاشف (عداد جيجر Geiger Counter) ومكبر والمسافة بين المصدر والكاشف حوالى 18 بوصة كما فى شكل (3-21)، وتتكون الحوائط الخارجية للجهاز من درع رصاص والذى يكون له فتحتان أحداهما للأشعاع من المصدر والذى يصل للكشاف (عداد جيجر) بعد انحرافه من التكوين الجيولوجى بواسطة التشتت. وتعتمد سعة التشتت على تركيز الإلكترونات فى التكوين والذى بدوره يتناسب مع كثافة مادة التكوين وتتناسب درجة التشتت مع (1-جتاθ) حيث θ هى الزاوية بين سقوط وتشتت الأشعة، وتشير هذه العلاقة إلى أن أكبر قيمة للطاقة θ = 90° تبعا لطاقة وعودة الأشعة والتى تعمل زاوية مقدارها 45° مع جدار البئر.



شكل (3-21): منظر مقطعى لثقل الكثافة

2.6.4.3 الطرق الغير مباشرة Indirect Methods:

1.2.6.4.3 طريقة البروفيل The Profile Method:

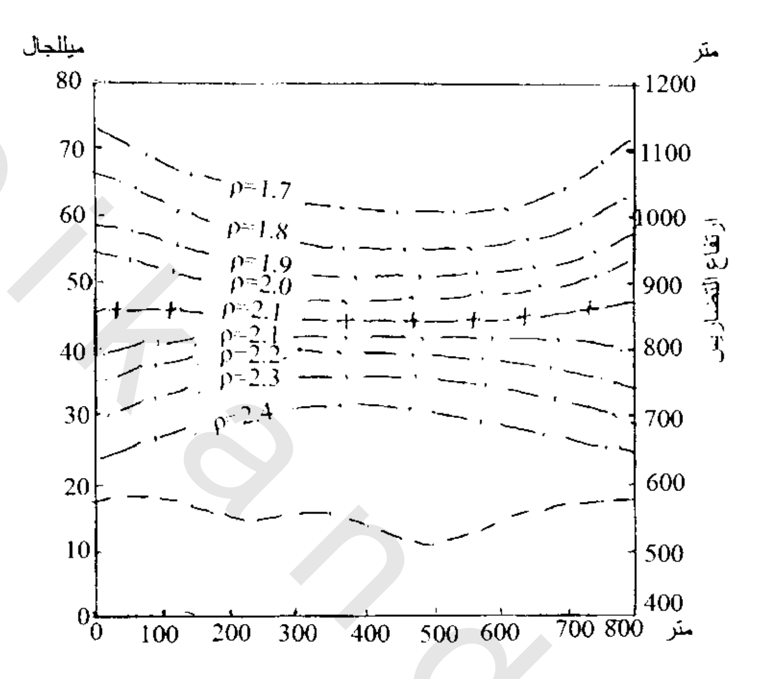
يحسب شذوذ بوجير على طول خط لمجموعة من القيم الإفتراضية للكثافة ويرسم شكل منحنيات للشاذات من هذه القيم الإفتراضية ثم تقارن هذ المنحنيات مع بروفيل التضاريس على طول هذا الخط. والكثافة الإفتراضية التابعة للمنحنى والذى يوضح أقل مقارنة مع التضاريس (تقريبا خط مستقيم)، تكون هذه الكثافة هى الصالحة للوح الصخرى بمنطقة الدراسة (نيتلتون Nettelton 1939) كما فى شكل (3-22) وتمتاز هذه الطريقة بإعطائها معدل كثافة حقيقية فى مناطق من الصعب أخذ عينات سطحية منها. ولكن هذه المعلومات الكثافية تكون لأعماق ضحلة نسبيا، لذا فإن إستخدامها يكون للصخور القريبة من السطح المتجانس.

2.2.6.4.3 طريقة الخط المستقيم Straight Line Method:

يفترض فى هذه الطريقة أن شذوذ بوجير (المعادلة 3-11) عند المحطات على طول الخط يكون صفر عندئذ يمكن كتابة المعادلة السابقة (3-11) مع ترتيب صغير لحدودها كالآتى:

$$\Delta g_{obs} \pm \Delta g_{\varphi} = -0.9406\ h + 0.1227\ h\ \rho + T\rho$$

$$= +(0.1227\ h + T)\ \rho - 0.9406\ h \qquad (3\text{-}12)$$



شكل (3-22): منحنيات الكثافات المفروضة مع منحنى التضاريس، -- منحنى التضاريس، -.- منحنيات ممثلة للكثافة المفروضة، -+- المنحنى الممثل للكثافة المفروضة والملائمة للوح الصخرى بمنطقة الدراسة

وبوضع هذه المعادلة فى صورة المعادلة العامة للخط المستقيم

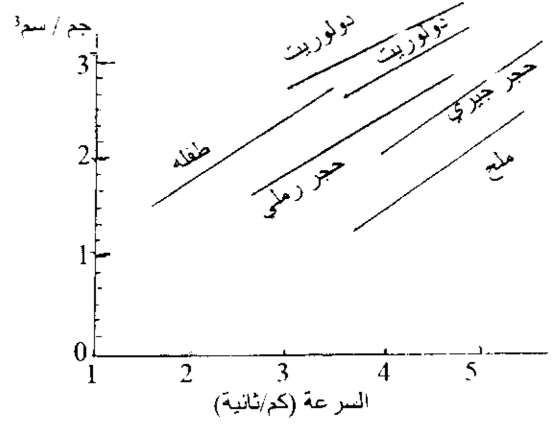
$$Y = X\ \rho - C$$

أى أن Y تمثل $\Delta g_{obs.} \pm \Delta g_{\varphi}$ & X تمثل $(0.1227\ h + T)$ فإن ρ تمثل الميل , C تمثل الجزء المقطوع $(-0.9406\ h)$. وعلى ذلك إذا رسمت قيم هذا الخط المستقيم X, Y كقيم من المعادلة (3-12) فيكون ميل هذا الخط هو الكثافة. وعمليا لن تقع القيم السابقة على خط مستقيم بالضبط لأن قيم شذوذ بوجير عامة لاتساوى صفر. لذلك يستخدم المد الإحصائى لأقل تربيعات (Least squares) للحصول على أحسن خط مستقيم.

3.6.4.3 تعيين الكثافة من الطريق السيزمية

Density Determiantion from Seismic Methods:

من المعروف أن سرعات الموجات السيزمية تعتمد على كثافة الصخور وترتبط معها بعلاقة طردية خطيه، ويوضح شكل (3-23) هذه العلاقة.



شكل (3-23): العلاقة بين سرعة الموجات السيزمية وكثافات الصخور

4.6.4.3 إختيار الكثافة Choice of Density:

فى تفسير الشذوذ الجاذبى يكون من الضرورى تقييم الكثافات للصخور التحت سطحية قبل إفتراض تركيبها. ولهذا السبب فمن المرغوب فيه إعطاء بعض نتائج الكثافات لصخور ممثلة فى مناطق المسح الجاذبى الإعتيادى. وكما أشير سابقا فإنها لاتكون كثافات مطلقة ولكن فروق الكثافات تكون هى الهامة والمطلوبة. ويشير الجدول رقم (3-2) لمعدل كثافات خصل عليها من عدد كبير من القياسات المعملية على عينات سطحية وآبارية.

جدول (3-2)

الصخر	معدل الكثافة	مدى الكثافة	الصخر	معدل الكثافة	مدى الكثافة
حجر رملى	2.32	2.76-1.61	دولوميت	2.7	2.93-2.36
طفل نضيدى طين صفحى متحجر طفله	2.4	2.45	نارية قاعدية	2.79	3.17-2.09
			نارية حمضية	2.61	3.11-2.3
حجر جيرى	2.45	2.9-1.93	صخور متحولة	274	3.1-2.4

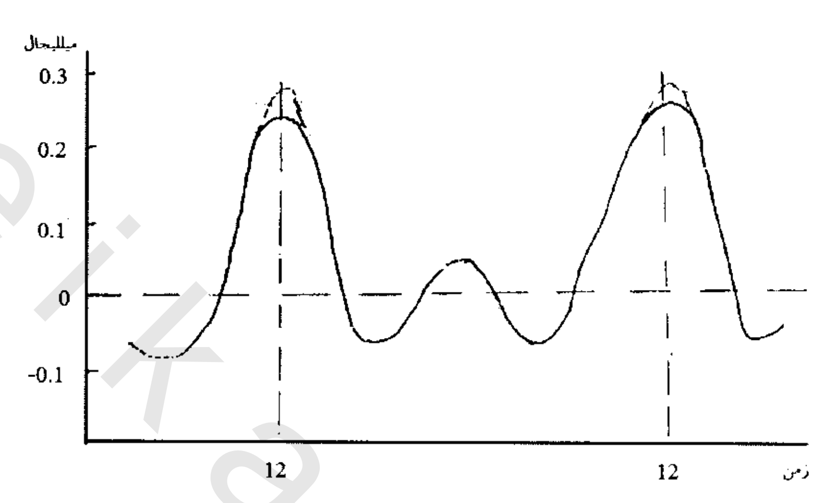
من هذا الجدول بتضح أن الصخور النارية لها كثافة أعلى من التكوينات الرسوبية. والفروق الكثافية بين الصخور الرسوبية صغيرة ولاتزيد عن 0.25 جم/سم^3. ويوجد تراكب (تداخل) أساسى بين كثافات الصخور النارية والرسوبية وكذلك بين الأنواع المختلفة من الصخور النارية نفسها. وفى كثير من المناطق يوجد زيادة منتظمة للكثافة مع العمق للقطاعات الرسوبية على أساس زيادة الضغط بزيادة العمق. أما الصخور المحلية فكثافتها حوالى 2.2 جم/سم^3 حيث أنها أخف من الصخور الرسوبية المحيطة بها عند أعماق أقل من 2500 قدم.

7.4.3 عوامل أخرى تؤثر على عجلة الجاذبية Other Factors Effect on Gravity Accleration:

1.7.4.3 تأثير المد والجذر Tidel Effect:

يؤخذ هذا العامل فى الإعتبار عندما يكون قيمة شاذات بوجير صغيرة وكما ذكر سابقا فى صفحة 119 أن هذه الخاصية تنتج بسبب تغير وضع القمر والشمس للأرض وبالتالى تتغير قوة جذبهم للأرض وأيضا تتغير قيمة

هذا الجذب حسب الوضع النسبى للموقع على سطح الأرض. وهناك جداول لحساب مقدار التغير فى عجلة الجاذبية الناتج من المد والجذر وحسابها رياضيا من معادلة هيلند Heilend السابقة. فى شكل (3-24) مثال محسوب للتغير فى قيمة التثاقلية الأرضية (Δg) الناتجة من المد والجذر من القمر عند إكتماله وكما نرى فإن أقصى تغير هو 0.3 ميللجال وهى قيمة مهمة وخصوصا إذا كانت شاذات بوجير صغيرة أما إذا كانت كبيرة فيمكن أهمال المد والجذر.



شكل (3-24): التغير فى عجلة الجاذبية للمد والجذر خلال يوم كامل

مما سبق يكون التصحيح النهائى كالآتى:

$\Delta g = \Delta g_{observed}$ ± latitude correction ± (elevation corr. ñ Bougaer corr.) + Terrian corr.) + Tidal effect.

2.7.4.3 تأثير توازن القشرة الأرضية Isostacy*:

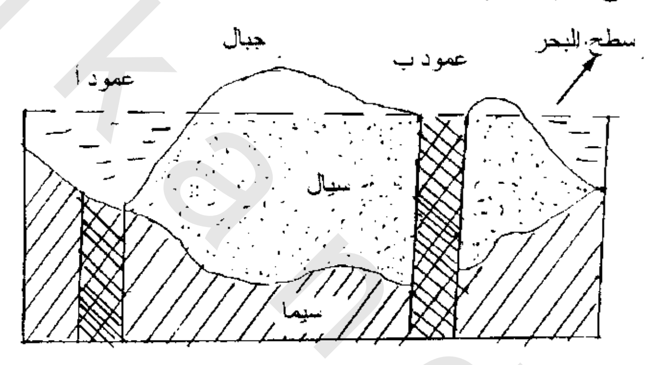
يعتبر التوازن الأيزوستى عامل يشارك فى تغير الجاذبية المشتقة من التغير الأفقى لها فى السمك العمودى للقشرة الأرضية.ويكون أكبر قيمة لهذا التغير هو قليل من الميللجال ولذا فهو يعتبر تغير اقليمى (Regional) وليس محلى (local) ولذلك لايؤخذ هذا التغير فى الإعتبار فى المسح المحلى أو الصغير. لذا يجب فصل الشاذات المحلية (الناتجة من التراكيب التحت سطحية والخامات) والمستخدمة فى حالة التنقيب عن الشاذات المناطقية regional anomalies المؤثرة فيها إتزان القشرة الأرضية) وهذه الشاذات هامة عند دراسة تكتونية المنطقة وما يصاحبها من إقتراب لب الأرض وخروج مواد كثيفة.

* أطلق العالم الأمريكى دوتن Dutton 1861 على إتزان القشرة الأرضية كلمة أيزوستسى Isostacy وهذه الخاصية تشير إلى أن الأماكن المرتفعة مثل سلسلة الجبال والقارات تقترب من حالة الإتزان (الإتزان الطافى Flotational equilibrium) مع الأماكن القليلة الإرتفاع مثل المنخفضات وأعماق المحيطات أو بمعنى آخر تشير إلى أن الكتل الثقيلة تغوص والأخرى الخفيفة ترتفع فى داخل الأرض اللدن وقد تناول تفسير هذه الظاهرة كل من (ايرى Airy 1855)، (برات Pratt 1859).

5.3 توازن القشرة الأرضية Isostacy:

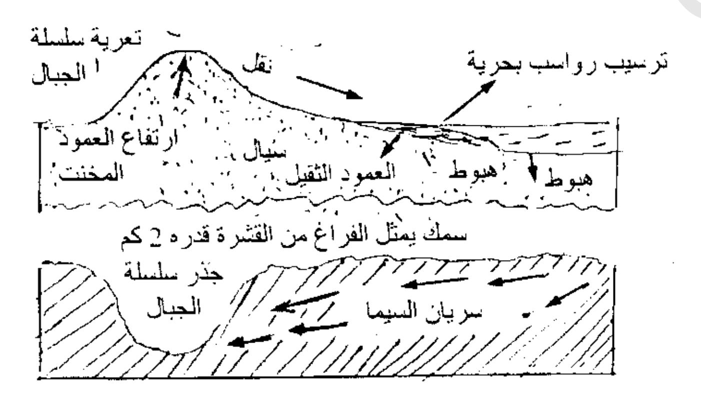
أثبتت آلاف القياسات الجاذبية أن الجبال العالية فى مناطق الإنشاء وهى التى بنيت نتيجة تقوس وقذف الرواسب التى كانت تتجمع فى متقابلات الميل الأرضية Geosynclines (تتكون من مواد خفيفة مشابهة لتلك المكونات لأسطح القارات) بينما يتكون قاع المحيط من مواد صخرية. ويعزى سبب الإرتفاع الشاهق لأحزمة الإنثناءات الجبلية (وهى التى تحوى المواد الصخرية الخفيفة) وكذلك سبب انخفاض قيعان المحيطات إلى خاصية من أهم خواص القشرة الأرضية وهى خاصية توازن هذه القشرة. وتعنى هذه الخاصية (والتى تشير إلى أن القشرة الأرضية متوازنة) أن الأعمدة الصخرية ذات القطاعات العرضية المتساوية الواقعة فوق مستوى معين يعرف بمستوى التوازن level of compensation والذى يقع بين 50-100 كم تحت سطح البحر تكون كتلتها واحدة مهما اختلفت أطوالها شكل (3-25).

ويوضح هذا الشكل أن كتلة العمود القصير أ تساوى كتلة العمود الطويل ب، وكذلك فإن القارات المكونة من السيال الخفيف تطفو على السيما الثقيلة.



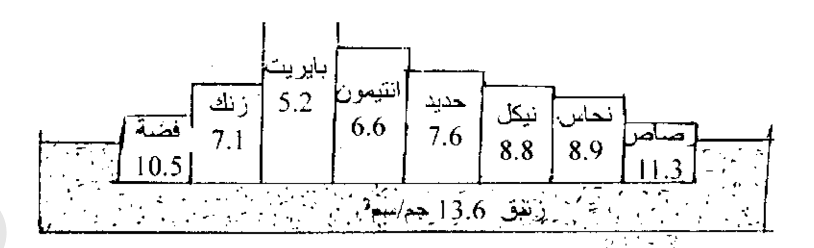
شكل (3-25): توازن القشرة الأرضية (ريد Reid 1949)

يتوازن الضغط الاختلافى differential pressure على الأجزاء السفلية من القشرة الأرضية بسريان بطئ للمادة الصخرية السائلة المرتفعة الكثافة الموجودة فى السيما Sima والتى تعمل كمادة لزجة plastic substance من السيما الواقعة تحت منطقة الترسيب إلى قاعدة أو جذر المنطقة التى حدث فيها التفتيت (وهى منطقة الإنثناء الجبلى) فترتفع هذه المنطقة وتعلو شكل (3-26) وهذا السريان الذى يتحقق به التوازن بين أجزاء القشرة الأرضية يعرف بإعادة الترتيب التوازنى isostatic readjustment.



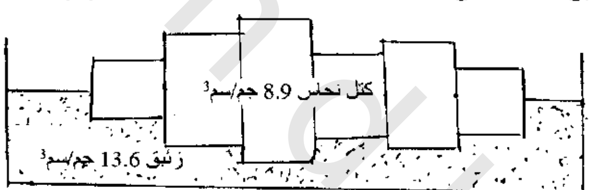
شكل (3-26): قطاع يبين إعادة الترتيب التوازنى تبعا للتعرية والترسيب (هولمز Holms 1956)

ويمكن توضيح توازن القشرة الأرضية وإعادة الترتيب التوازنى بطريقة عملية بإعداد كتل معدنية متساوية الوزن والقطر ولكنها مكونة من مواد مختلفة وذات أطوال متباينة، ثم توضح هذه الكتل فى حوض زئبق، فيلاحظ أن كتل المواد الخفيفة (الأقل كثافة) ترتفع على سطح الزئبق أعلى من إرتفاع كتل المواد الكثيفة شكل (3-27).



شكل (3-27): تجربة توضح توازن القشرة الأرضية وأن الاختلافات فى ارتفاعات الأجزاء الكبيرة من القشرة الأرضية تتعادل باختلاف الكثافة (الكتل المعدنية لها قطاعات عرضية واحدة وهى متساوية فى الوزن وعلى ذلك تغطس الأعماق متساوية، الكثافة جم/سم^3) (أمونزوثيل Amonzothel 1955)

وفى تجربة أخرى توضع كتل من مادة نحاسية واحدة ومختلفة الأطوال فى حوض زئبق، فيلاحظ أن الكتل الطويلة تنغمس فى الزئبق لأعماق أبعد من الكتل القصيرة، وتعلو كذلك على سطح الزئبق إلى ارتفاعات أكثر من الكتل القصيرة شكل (3-28) إذا ما اقتطعت أجزاء من الكتل الطويلة وأضيفت إلى الكتل القصيرة فإن الكتل الأولى يزداد علوها بينما يزداد انعماس الكتل الثانية حيث أضيفت الأثقال إليها.



شكل (3-28): يوضح الكتل النحاسية ذات القطاعات العرضية الواحدة بأطوال مختلفة ، ترتفع الكتل الطويلة أكثر وتغوص أعمق من الكتل القصيرة (أمونزويثل Amonzothel 1955)

ولقد حدث هذا التعديل فى إرتفاعات الكتل المتباينة الأطوال، والذى يمكن مقارنته بما يحدث تحت سطح الأرض، نتيجة لسريان الزئبق من تحت الكتل التى اقتطع من أوزانها.

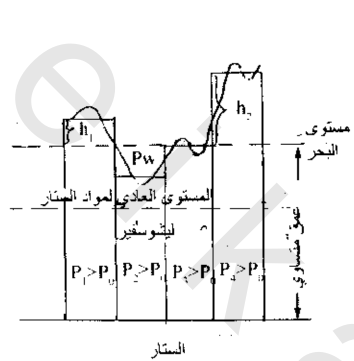
قد لاحظ العالمان برات وايرى Pratt and Airy أن قياسات الجاذبية فوق مناطق الألب وساحل الأطلنطى بعد كل التصحيحات للوصول لشاذة بوجير Bouguer أكبر من معدلها المفروض أن تكون عليه فوق المناطق الساحلية وأقل مما يجب أن تكون عليه فوق المناطق الجبلية. وقد وضع كل منهما نظرية يعللا فيه هذه الظاهرة. فعلل برت Pratt ذلك بالتجربة الأولى شكل (3-27) بينما علل ايرى Airy ذلك بالتجربة الثانية شكل (3-28). وقد طور هاتين النظريتين من بعدهما علماء آخرون وأهمهم دوتون Dutton أول من نادى بنظرية توازن القشرة الأرضية وأطلق عليها أيزوستسى Isostacy، ثم وضع هيسكانن Heiskanen نظريتى برات وايرى موضع التخيل وقام بحساب ما يجب أن يكون عليه سمك القشرة لكلا النظريتين شكل (3-29)، ويمكن وضع نموذج رياضى لكلا النظريتين شكل (3-30).

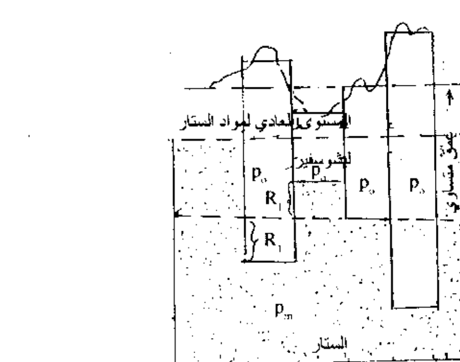
فى نموذج ايرى Airy فإن عمق مستوى التعديل يعتمد على سمك جذور الجبال والمرتفعات.وباستخدام دلائل (3-30أ) فإن السمك الإضافى للقشرة h_a (المثل للجذر) يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية:

$$\rho_c (h + H + h_a) = \rho_c H + \rho_s h_a$$

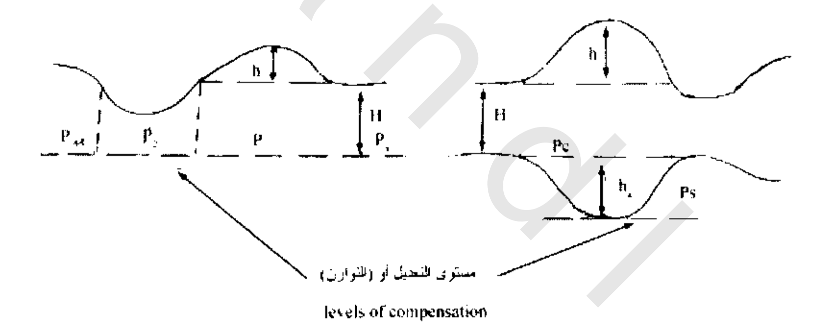
أو

$$h_a = h \rho_c(\rho_s - \rho_c) \quad (3\text{-}13)$$





شكل (3-29): توازى القشرة الأرضية لكلا من نظريتى ايرى وبرات



شكل (3-30): نماذج رياضية لتوازن القشرة لكلا من نظريتى ايرى وبرات

حيث h_a = سمك الجذور، h = الارتفاع المقابل للجذور على سطح البحر، ρ_c = كثافة أعلى القشرة، ρ_s = كثافة باطن القشرة.

إذا كانت ρ_c متوسطة كثافة عمود أعلى القشرة 2.8 جم/سم^3 ومتوسط كثافة باطن القشرة 3.30 جم/سم^3 فإن

$$h_a = 6.3 h \quad (3\text{-}14)$$

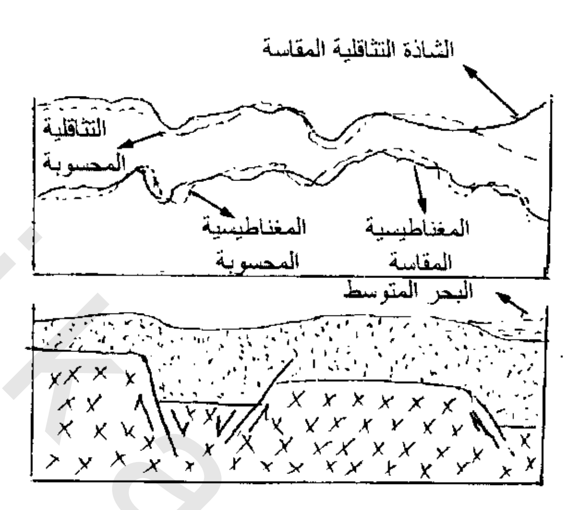
وتكون قاعدة القشرة كمرآة للتضاريس.

فى نموذج برات Pratt فإن إرتفاع تضاريس القشرة (فوق سطح البحر) h، ويكون علاقتها بالكثافة كالآتى:

$$\rho_1(H + h) = \rho_n H \quad (3\text{-}15)$$

حيث ρ_n متوسط كثافة عمود القشرة، H الإمتداد من سطح البحر إلى عمق مستوى التعديل.

هذا بالإضافة للقياسات السيزمية والجيوديسية أمكن توضيح عملية التوازن ومعرفة تكون القشرة الأرضية فمن القياسات السيزمية وجد أن كلا من نظريتى ايرى وبرات Airy and Pratt صحيحتين لحد ما. فالقشرة الأرضية تحت سطح المحيط (oceanic crust) أكبر كثافة بالفعل وهى أقل سمكا والموهو* Moho أقرب لسطح الأرض أما القشرة تحت القارات (continental curst) فهى أقل كثافة وسرعة الموجات السيزمية بها أقل منها تحت المحيطات وهى أكبر سمكا.



شكل (3-31): تغير الشاذة التثاقلية لاقتراب البحر المتوسط (شمال مصر)

وهناك سؤال ما علاقة توازن القشرة الأرضية بالقياسات الجرافيمترية. نجد أن القياس بالقرب من البحار والمحيطات تعطى شاذات تثاقلية أكبر من القيم المفروض أن تكون عليها شكل (3-31). لذا يجب تصحيح القراءات الناتجة من طبيعة المنطقة سواء كانت جبلية أو ساحلية، ويجب فى هذه الحالة فصل الشاذات المحلية local anomalies عن الشاذات المناطقية regional anomalies حيث أن لكل منهما استخدامه. فالشاذات المحلية تستخدم للتنقيب والاستطلاع الجيوفيزيائى بينما الشاذات الإقليمية أهميتها فى دراسة تكتونية المنطقة وما يصاحبها من اقتراب لب الأرض وخروج مواد كثيفة.

6.3 تفسير شاذات الجاذبية Interpretation of Gravity Anomalies:

يستكمل العمل الحقلى عادة بإعداد الشاذات عبر خطوط Gravity profile أو عبر شبكة من المحطات منتجة بما يسمى بخريطة الجاذبية (Gravity map or isogal map) وذلك بعد إجراء التصحيحات السابق ذكرها. وأى إنحراف عن تجانس هذه الشاذات يدل حقيقة على إنحراف ناتج عن عدم تجانس فى توزيع الكثافة فى داخل الأرض، وهذه تدل بالتالى على تغير فى التركيبات الجيولوجية، وهناك طريقتين للتفسير هما الطريقة النوعية qualitative method والطريقة الكمية quantitative method.

* الموهو هو الخط الفاصل بين الستار والقشرة.

1.6.3 الطريقة النوعية Qualitative Method:

فى هذه الطريقة يتم التعرف على نوع الجسم المسبب للشاذة هل هو جسم كثيف أو قليل الكثافة أو صدع أو طيه...إلخ، بدون التعرف على الأبعاد والأعماق. وتعتمد هذه الطريقة على معرفة شكل الشاذات الثاقلية الناتجة من أجسام وتكوينات جيولوجية. وتحدد عادة شكل هذه الأجسام والتكوينات الجيولوجية من القراءة الجيدة للخرائط التثاقلية. عادة ما تعكس الأجسام وأغلب التكوينات الجيولوجية خطوط كنتورية مغلقة على خرائط الجاذبية وهناك تفسيرين لهذه الخطوط الكنتورية المغلقة (شكل 3-32).

1- إذا أشارت الخطوط الكنتورية المغلقة بالموجب فى إتجاه الداخل فعادة ما تدل على زيادة فى الكثافة مثل وجود ركاز كثيف كالماجنتيت والرصاص وغيرها شكل) (3-32ج) أو لتركيب جيولوجي كطية محدبة* Anticline (3-32د): أو لنتق Horst (3-32هـ).

2- عندما تشير الشاذة للنقصان فى إتجاه الداخل فإنها تعكس نقص فى الكثافة كتداخل قبة ملحية** (شكل -33 3فى صخور أكبر منها فى الكثافات شكل (3-32جـ`) كهف أو ما إلى ذلك أما من ناحية شكل التركيبات فهى غالبا ما تكون طيه مقعرة syncline شكل (3-32 د`) أو حوض تركيبى شكل (3-32 هـ`).

أما فى حالة تراكيب صدعية (فوالق) فيلاحظ على خرائط الجاذبية تغير مفاجئ فى خطوط الكنتور وتقاربها سواء فى الشاذات المغلقة أو المفتوحة ويوضح شكل (3-34) شاذة تثاقلية فوق صدع.

2.6.3 الطريقة الكمية Quantitative Method:

فى هذه الطريقة يمكن الحصول على مواصفات الجسم المسبب للشاذة التثاقلية أى إمتداده وعمقه وحجمه بالأرقام لذلك نلجأ لدراسة الشاذات التثاقلية الناتجة من أجسام هندسية منتظمة.

* تظهر الطيه المحدبة فى صورة جاذبية عالية إذا كانت كثافة التكوين أكبر من متوسط الكثافات الموجودة بالقرب من سطح قمة الطيه المحدبة حيث يكون خط القمة هو محور القيمة العليا للجاذبية وعكس هذه الظاهرة يكون مصاحب للطيه المقعرة.

** القبة الملحية Salt Dome: من أكبر المسح الجاذبى الذى يتم عمله على شواطئ الخلجان للبحث عن خواص جاذبية منخفضة لمصاحبتها للقبب الملحية (مصدر أساسى لتجمع البترول). وفى القبب الملحية عادة ما تكون قمة القبة مغطاة بصخور أكثر كثافة (كبريت) من القبة الملحية وتسبب هذه الصخور إرتفاع جانبى فى الإنخفاض الجاذبى للقبة الملحية (شكل 3-33).

أ) شاذة جاذبية موجبة

ب) بروفيل الشاذة الجاذبية

جـ) تداخل كثافة اكبر في كثافة اقل

د) طبة محدبة

هـ) نتق(سرج

(1)

أ) شاذة جاذبة سالبة

ب) بروفيل الشاذة الجاذبية

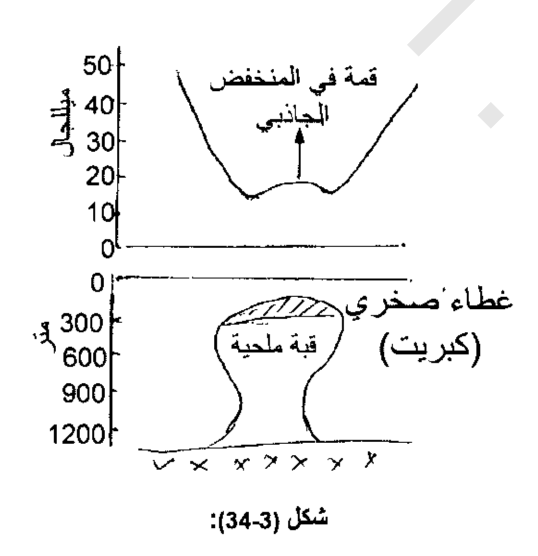
جـ) قبة ملحية

د) طبة مقعرة

هـ) حوض

(2)

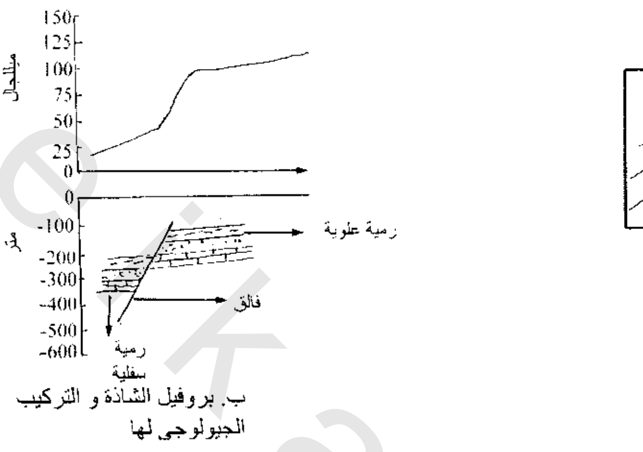
شكل (3-32):



شكل (3-34):

1.2.6.3 التأثير الجاذبى لأشكال كتلية بسيطة Gravity Effects of Simple Shapes:

إن تأثير حساب الجاذبية لبعض النماذج الهندسية تستخدم كمرشد جيد لتقدير قيمة وشكل الشاذات الجاذبية المتوقعة من التركيبات الجيولوجية حتى ولو كانت الأشكال الحقيقية للتركيبات نادرا ما ترى تقريبا مشابهة للأشكال الهندسية البسيطة. وهناك خمسة أشكال هندسية غالبا ما تستخدم تقريبا كمدى واسع للتركيبات الجولوجية وهى الكرة، الأسطوانة الأفقية، الصفيحة الأفقية، المنشور الرباعى، الأسطوانة الرأسية.



ب. بروفيل الشاذة و التركيب الجيولوجى لها

أ. شاذة تثاقلية

شكل (3-34):

1.1.2.6.3 الكرة Sphere:

ليس العديد من التركيبات الجيولوجية (ماعدا بعض القباب الملحية) يكون شكلها كروى تقريبا ومع ذلك يستخدم هذا النموذج البسيط غالبا كتقدير أولى لأجسام مدمجة (مضغوطة)، وغير متساوية الأبعاد والتى يكون شذوذها تقريبا دائرى الشكل فى الخرائط التثاقلية. وعندما تكون الكتلة الداخلية متمركزة عند المركز فإن جاذبية الكرة عند أى نقطة خارجية تكون متساوية وبدلالة شكل (3-35) فإن الشاذات الجاذبية للكرة تعطى عند النقطة P كالآتى:

$$\Delta g_2 = Y\,\frac{M}{r^2} = \gamma\frac{4/3\,\pi R^3\rho}{r^2} \qquad (3\text{-}16)$$

وحيث أن

$$r = \sqrt{Z^2 + X^2}$$

$$\therefore \Delta g_2 = 4/3\,\frac{\nu\pi R^3\rho}{(Z^2 + X^2)}$$

وحيث أن المركبة الرأسية

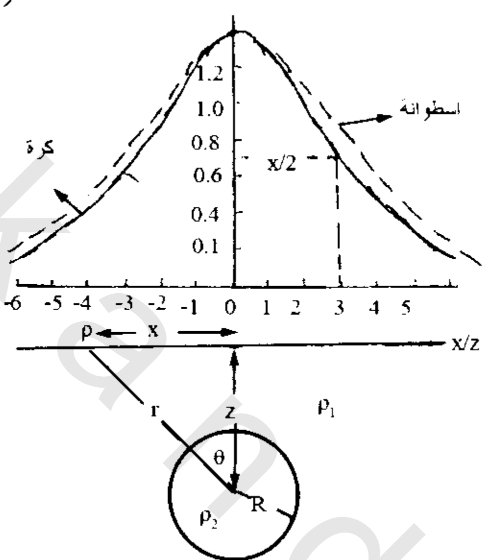
$$\Delta g_2 = g\cos\theta = g.\frac{Z}{r}$$

$$\therefore \Delta g_z = 4/3\,\frac{\gamma\pi R^3\rho}{(Z^2 + X^2)}.\frac{Z}{(Z^2 + X^2)3/2}$$

$$= 4/3\,\frac{\gamma\pi R^3\rho}{Z^2}\cdot\frac{1}{\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)^{3/2}}\gamma \qquad (3\text{-}17)$$

ويتضح من المنحنى أنه عندما تكون X = 0 تكون الجاذبية أكبر ما يمكن

$$\therefore \Delta g_z = \frac{\Delta g_{max}}{\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)^{3/2}} \qquad (3\text{-}18)$$



شكل (3-35): التغير الأفقى فى الجاذبية بسبب الكرة ومقطع الإسطوانة الأفقية بتباين كثافة $\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$، وأكبر قيمة عنده =X وتقل للنصف عند $X = \frac{X}{2}$

ويتضح من المنحنى أيضا تغير الجاذبية مع المسافة الأفقية وذلك للقيمة الخاصة $\frac{X}{Z}$. وتصل Δg لقيمة تساوى $g_{max/2}$ عند منتصف المسافة الأفقية X. وفى هذه الحالة تسمى المسافة الأفقية X/Z منتصف العرض Half width للشاذة التثاقلية. هذه الإحداثيات تكون دالة نافعة لتقييم العمق. وبالنسبة للكرة فإن العمق للمركز Z_c يساوى $1.305\ X_{1/2}$. ويكون بذلك من الممكن تقييم العمق مباشرة لمركز جسم شبه كروى من بروفيل الشاذة الملاحظة بدون حسابات. وإذا أمكن تقييم تباين الكثافة $\Delta\rho$ فإنه يمكن تحديد حجم وكتلة الجسم من المعادلة السابقة.

2.1.2.6.3 الإسطوانة الأفقية Horizontal Cylinder:

يمكن حساب جاذبية التركيب المطول فى إتجاه المضرب كحدود لتأثير عنصر الخط الأفقى أو إسطوانة أفقية طويلة، حيث يمكن تشبيه الطيات المحدبة شديدة الإنحدار والأحرف المدفونة كاسطوانة أفقية طويلة. وبإستخدام الدالات لشكل (3-35) تكون شاذة الجاذبية بسبب الطول اللانهائى للاسطوانة (مضربها عمودى على مستوى الورقة) هى

$$\Delta g = \frac{2\pi\gamma R^2 \Delta\rho}{Z} \cdot \frac{1}{\left(1+\frac{X^2}{Z^2}\right)} \qquad (3\text{-}19)$$

وفى هذه الحالة لايكون منحنى الشاذة حاد كما فى حالة الكرة عند نفس العمق. وعندئذ تختلف Δg هنا عكسيا مثل Z (مخالف لـZ^2 للكرة) والتى تميز لكل بعدى التركيب وبالنسبة للاسطوانة الأفقية يكون العمق Z_c مساوى لنصف العرض $X_{1/2}$.

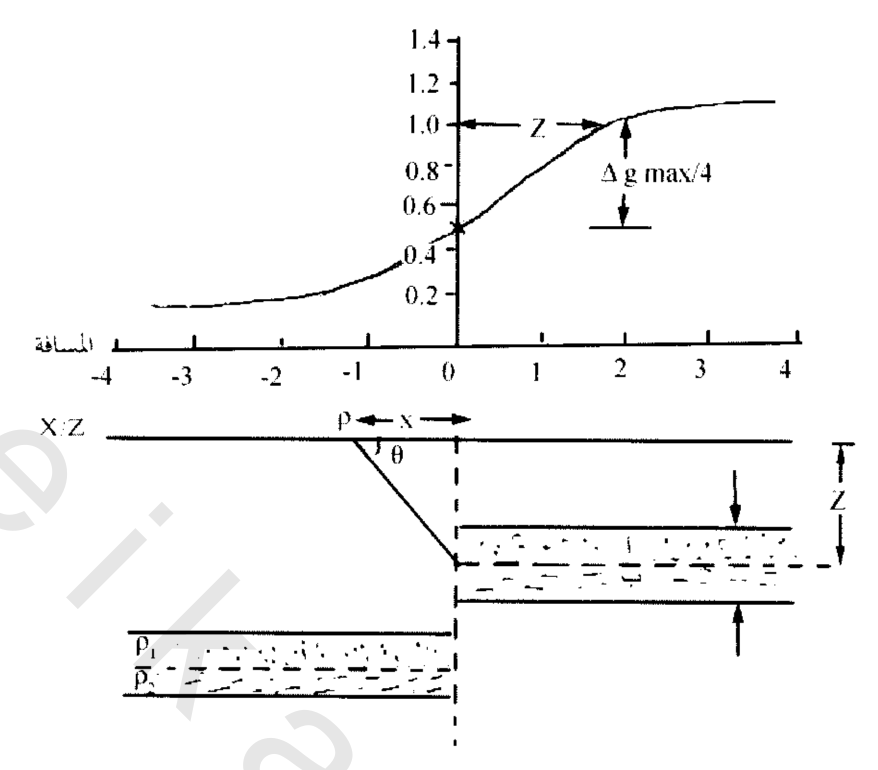
3.1.2.6.3 اللوح الأفقى Horizontal Slab:

هذا النموذج يكون نافع لتقريب تأثير الجاذبية للفوالق أو تركيب شبه درجي. فى الحالة البسيطة شكل (3-36)، الحد الأفقى بين الطبقة العلوية ذات كثافة ρ_1 والطبقة السفلية التى كثافتها ρ_2 أزيحت رأسيا بمسافة t (رمية الفالق). ولذلك تكون شاذة الفالق مساوية لنصف امتداد الصفيحة والتى سمكها t وتباين الكثافة $\Delta\rho = (\rho_2\text{-}\rho_1)$ والمنتهية عند درجة الفالق ($X=0$). وبالنسبة لفالق صغير ($t < Z$) فمن الممكن اعتبار ان كتلة شذوذ اللوح ضغطت إلى لوح رفيع عند منتصف مستوى اللوح عند عمق Z، ولذلك فإن الزيادة فى الكتلة $\Delta\rho t$ لكل وحدة مساحة من اللوح وتكون $\gamma\Delta\rho t$ هى محصلة تأثير الجاذبية مضروبة فى الزاوية المجسمة المقابلة بواسطة اللوح عند نقطة القياس. وبالنسبة لنصف امتداد اللوح وباستعمال دالة الشكل (3-35) فإن الزاوية المجسمة تكون θ_2 والتى تكون مرتين الزاوية المقاسة فى مستوى الشكل وتبعا لذلك يصبح تأثير الجاذبية كالآتى:

$$\Delta g = 2\gamma t\,\Delta\rho\theta = 2\gamma t\Delta\rho\left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1}\frac{X}{Z}\right) \qquad (3\text{-}20)$$

حيث $2\pi\gamma t\Delta\rho$ هى التغير الكلى لشاذة الجاذبية عبر الفالق بدون اعتبار (النظر) إلى عمق الصفيحة. وبالنسبة للفالق الرأسى فإن تغير الجاذبية عبر جانبى أثر الفالق يكون نصف التغير الكلى لشاذة الجاذبية. عندئذ فإن محصلة ($t.\Delta\rho$) للصفحية يحدد مباشرة من شذوذها الجاذبى. ويعطى عمق منتصف مستوى الصفيحة بواسطة المسافة الأفقية التى لها تغير جاذبى $\frac{1}{4}$ التغير الكلى للشاذة. وشدة إنحدار Δg من منحنى الشاذة يدل على عمق ضحل Z.

ومن الملاحظ أن التقريب لتكثيف كتلة اللوح إلى لوح رفيع فإنه يقترب من تطبيق هذه الطريقة حتى على الأجسام التى لها سمك اعتبارى مثل أحواض الترسيب العميقة. وبالنسبة للألواح السميكة، والتى تمتد إلى السطح ($t = 2Z$) والتى لها امتداد أفقى من مرتبة ثلاث مرات السمك فإن نيتلتون Nettelton 1971 أعطى عدد عملى وسهل التذكر لـ 100 قدم (حوالى 30 متر) لمواد سميكة بتباين كثافة ($\Delta\rho = 1\ gm/cm^3$) فإنها تسبب تأثير جاذبى مقداره واحد ميللجال وتبعا للقيمة النظرية للوح ذا امتداد لانهائى (لوح بوجير) فإن 24 متر تعطى شاذة مقدارها واحد ميللجال.



شكل (3-36): شذوذ الجاذبية عند فالق، عبر أثر الفالق فإن التغير الكلى فى الجاذبية (Δg_{max}) يقل إلى نصف قيمته والمسافة الأفقية (التى عبرها تتغير الشاذة من $0.5\Delta g_{max}$ إلى $0.2\Delta g_{max}$ تعبر عن العمق Z)

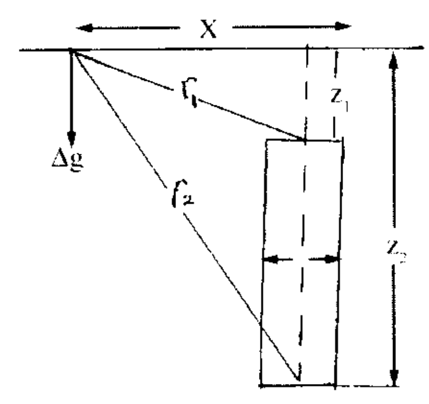
4.1.2.6.3 المنشور الرباعى الطويل Long Rectangular Prism:

يستخدم غالبا نموذج اللوح الرفيع الراسى كتقريب لتأثير الجاذبية للأجسام اللوحية (مثل سد Dike) الممتدة فى إتجاه المضرب. وباستخدام دلالة شكل (3-37) فإن معادلة شذوذ الجاذبية للوح رأسى رفيع ($t < Z_1$) والذى مضربه عمودى على سطح الورقة تكون:

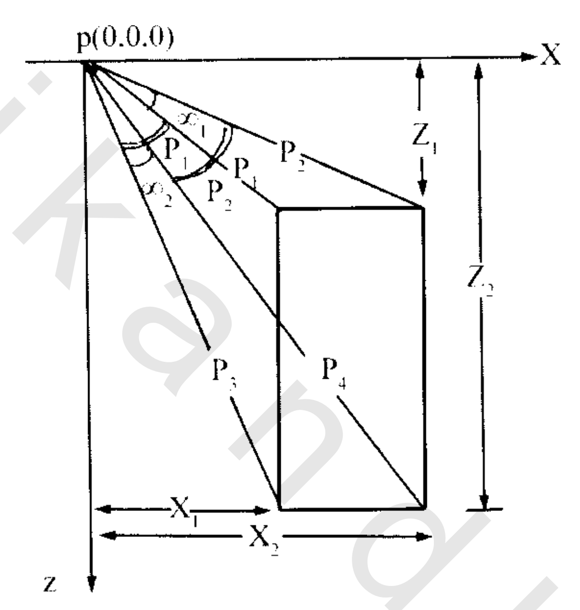
$$g = 2\,\gamma t\,\Delta\rho\,\ln(r_2/r_1) \qquad (3\text{-}21)$$

وبالنسبة للطول اللانهائى لمنشور رباعى سميك أو سد سميك ($t \le Z_1$) فإن المعادلة التقريبية السابقة لاتكون كافية الإنضباط. وباستخدام دلالات شكل (3-38) فإن تأثير الجاذبية عند نقطة P(0, 0, 0) بسبب منشور رباعى سميك هى:

$$\Delta g = 2\gamma\Delta\rho(X_2 \ln r_4/f_2 \text{ ñ } X_1 \ln r_3/r_2 + (Z_2\alpha_2 - Z_{12}\alpha_1) \qquad (3\text{-}22)$$



شكل (3-37): نموذج للوح راسى غالبا يستخدم كتقريب لتأثير سد رفيع



شكل (3-38): الحساب الكمى لشذوذ الجاذبية عبر جسم لوحى طويل ومضربة عمودى على الصفحة

2.2.6.3 الإسطوانة الرأسية Vertical Cylinder:

هذا الشكل غالبا ما يكون ملائما لتقريب تأثير الجاذبية للقبب الملحية والمتداخلات (الرقاب) البركانية وباستخدام دلالة شكل (3-39) فإن شاذة الجاذبية بسبب اسطوانة قصيرة ($t < Z$) تكون ببساطة

$$\Delta g = \gamma t\, \delta \rho \varphi \qquad (3\text{-}23)$$

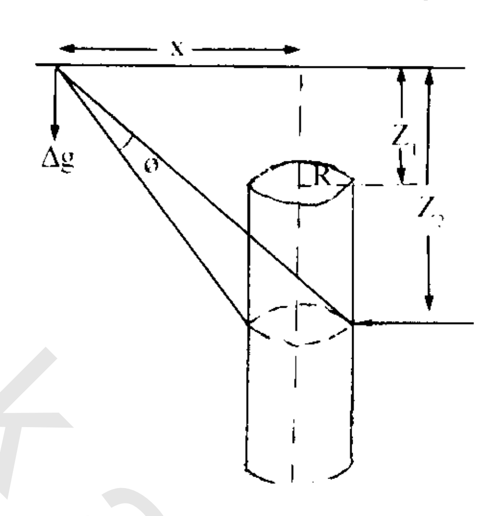
حيث φ زاوية مجسمة وممتدة إلى نقطة القياس بواسطة مقطع الإسطوانة (فى وسط المستوى)، ويمكن تحديد ملائم للزاوية المجسمة وأطوال الأجسام شبه المدخلة (مثل رقاب البراكين والسداد الملحية الرفيعة). من اللوحة الخطية لنيتلتون Nettelton 1971 بإستخدام نموذج بسيط لإسطوانة رأسية طويلة ($t > Z_1 > R$)، فى هذه الحالة فإن تأثير الجاذبية يكون قريبا لمعادلة عنصر الخط الرأسى وتعطى بواسطة

$$\Delta g = \pi R^2 \gamma \Delta R / \sqrt{X^2 + Z_1^2} \qquad (3\text{-}24)$$

وبالنسبة لعنصر الخط الرأسى فإن العمق

$$Z_1 = X_{1/2}\sqrt{3} \tag{3-25}$$

حيث $X_{1/2}$ نصف عرض الشاذة كما ذكر سابقا.

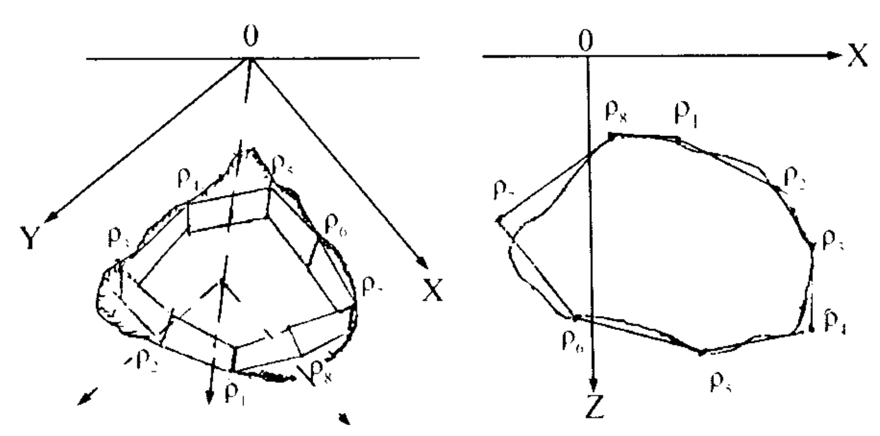


شكل (3-39): نموذج الاسطوانة الرأسية وتستخدم لتقريب تأثير جاذبية القبب الملحية والرقاب البركانية

مما سبق يتضح أن الطرق السابقة تفسر الطريقة الأولى فى عملية تفسير الشواذ الجاذبية. أما الطريقة الثانية فتتناول الظواهر الجيولوجية المعقدة لأشكال جيولوجية غير منتظمة والتى لاتقترب من أى شكل هندسى، وفى هذه الحالة يمكن إضافة تقريبين آخرين، فتتناول الظواهر الجيولوجية المعقدة لأشكال جيولوجية غير منتظمة والتى لاتقترب من أى شكل هندسى، وفى هذه الحالة يمكن إضافة تقريبين آخرين، الأول إستخدام الطرق الخطية والثانى التقريب التحليلى.

فى الطرق الخطية توضع لوحات معايرة (والتى تقسم إلى قطع) على أى مقطع غير منتظم لنموذج ظاهرة جيولوجية وبذلك يمكن حساب الجاذبية عند أى نقطة على السطح بواسطة تأثير جميع القطع المغطية لقطاع الظاهرة الجيولوجية ويمكن استخدام الطرق الخطية (المرسومة) للأجسام ثلاثية الأبعاد، وفى هذه الحالة توضع لوحة معايرة ملائمة على خطوط كنتور الظاهرة الجيولوجية فى المستوى الأفقى وتقسم إلى مجموعات من الألواح الأفقية كل له سمك يساوى مسافة كنتورية.

أما الطرق التحليلية فمعظم حساباتها الموضوعة (بوت Bott 1960) وضعت على المقدمة المقترحة بواسطة تلوان وآخرين Talwan et al 1959، والتى فيها يمكن تقريب المقطع لجسم ذى بعدين وذلك بتمثيله بواسطة مضلع متعدد الجوزانب شكل (3-40 أ) وتطور هنا إلى أجسام ثلاثية الأبعاد شكل (3-39ب) وفى هذه الحالة فإن تأثير الجاذبية يحسب لكل شريحة رقيقة ويجمع هذا ليعطى الشاذة الجاذبية الكلية، وتستخدم برامج الحاسب الآلى لسهولة تطبيق هذه الطرق (بوسبى Bosbie 1987).



شكل (3-40 أ): مضلع يمثل قطاع رأسى غير منتظم لبعدى ظاهرة جيولوجية   شكل (3-40ب): تمثيل لظاهرة جيولوجية ثلاثية الأبعاد بواسطة مضلع رقيق الشرائح

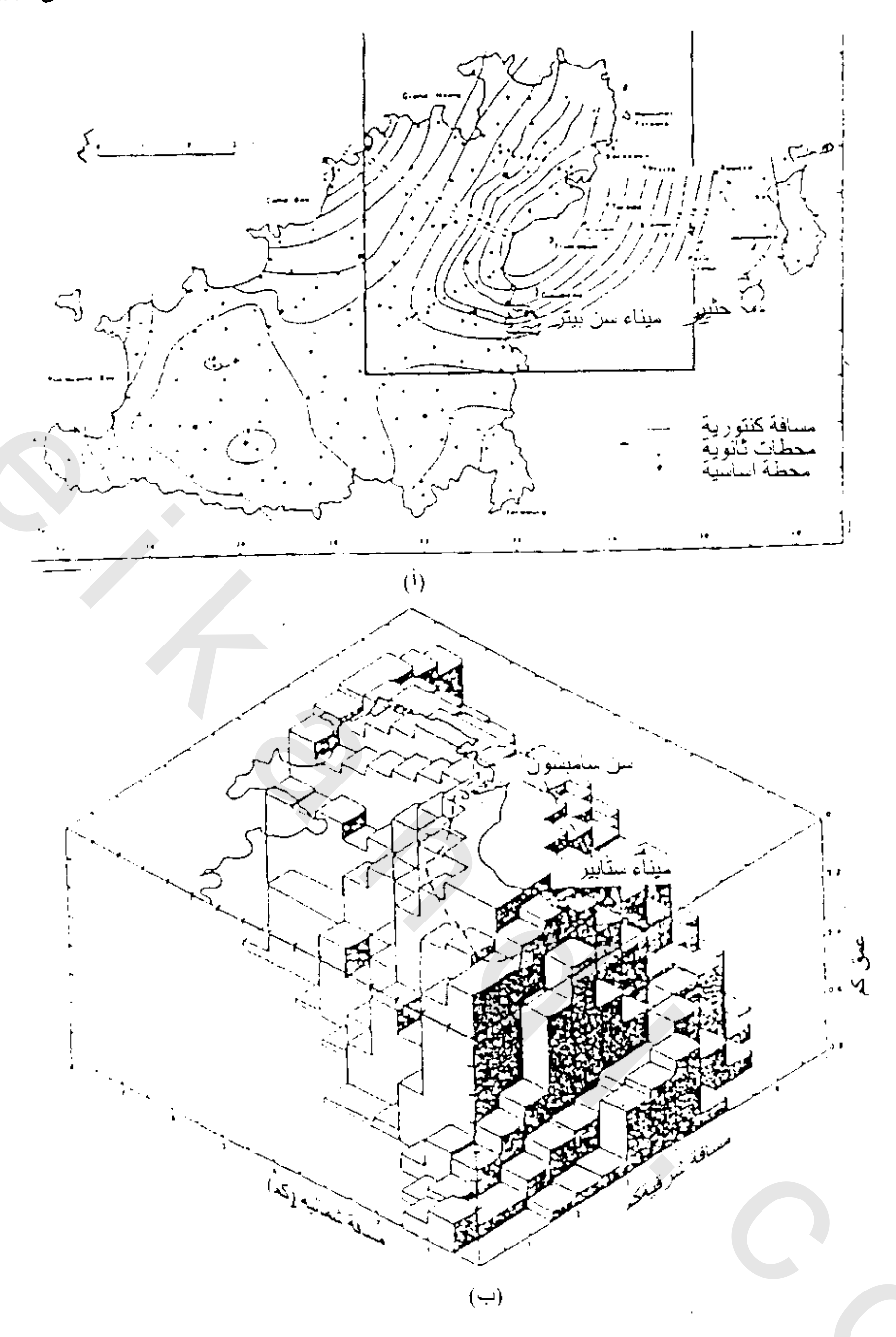
ولتطوير التوصل إلى ثلاثى الأبعاد فيعتبر الجسم الجيولوجى صفوف من بلوكات مكعبة متساوية الأحجام ولها تباين كثافى. حيث يعتبر كل مكعب صغير كإشارة كتلية ولذلك فإن الشاذة الجاذبية الكلية للجسم الكلى يحصل عليها بواسطة تجميع مكونات مركبات الجاذبية لكل مكعب صغير. وتقارن شذوذ الجاذبية المحسوبة مع المقاسة ويضبط النموذج بواسطة طرق التكرار الأوتوماتيكى. إلى أن يقل الفرق بين الشاذات المحسوبة والمقاسة إلى قيمة مقبولة بواسطة مستوى إحصائى محدد. واضبط مقارنة تتم بواسطة إقلال الحجم وزيادة عدد المكعبات الفردية خلال النموذج. يعتبر حساب الشاذات النظرية سهلا بواسطة حجم مكعب منتظم شكل (3-41).

3.2.6.3 تحديد العمق Depth Determination:

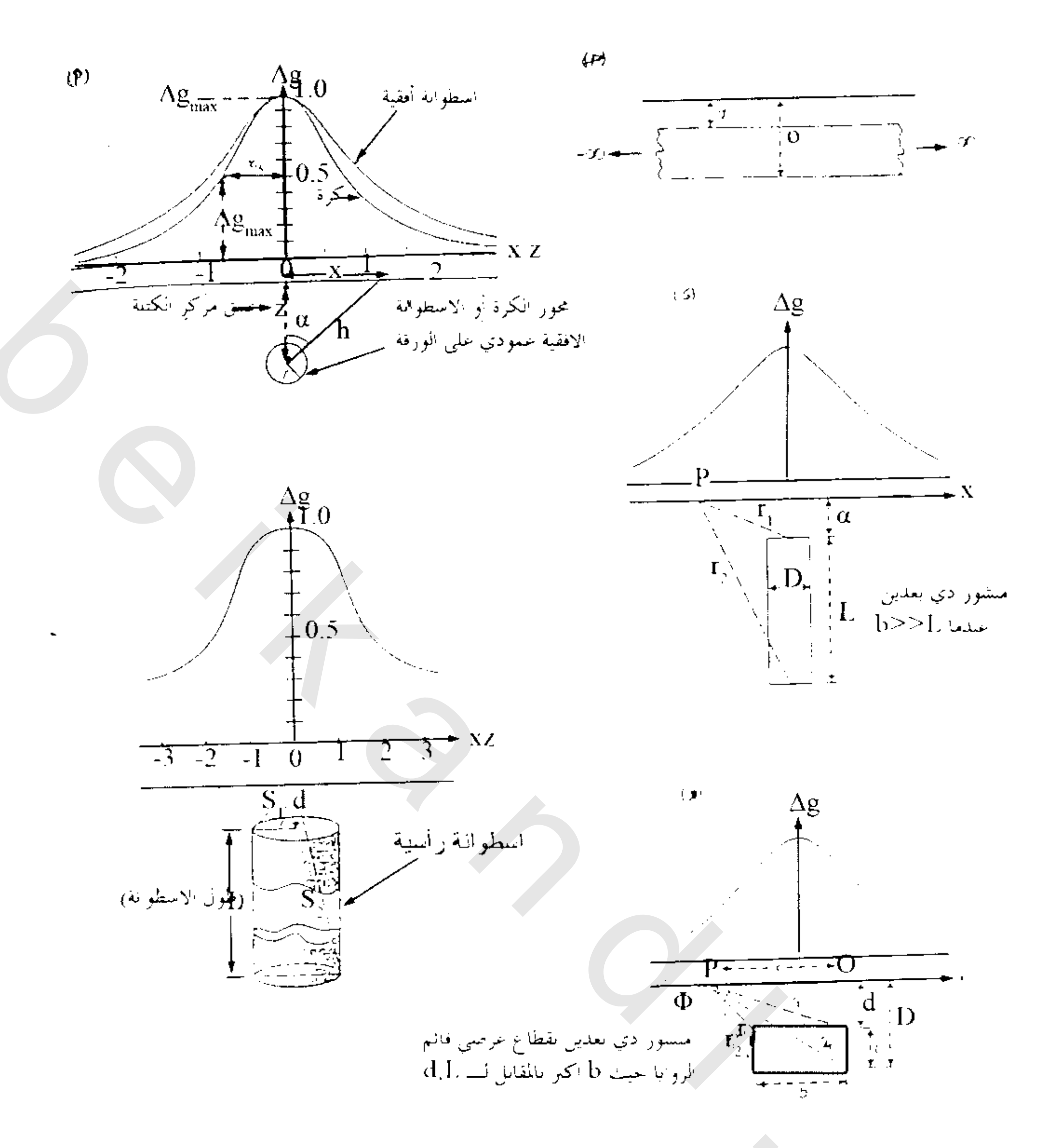
من أهم تفسيرات نتائج الجاذبية هو تحديد العمق لمركزالكتل أو إلى قمة الجسم المسبب للشاذة. وتعتمد طرق الحصول على هذه المعلومة على إستخدام أسلوب تفسير تقنى ونماذج.

والطرق العامة للتطبيق تتفق مع إستخدام نصف العرض للشذوذ ($X_{1/2}$) حيث السعة تكون نصف القيمة العظمى شكل (3-42).

وتحدد بعض الأعمال نصف العرض كعرض كلى عند منتصف قمة (ذروة السعة وصيغة معادلة العمق وتحديد الكتلة سوف تختلف تباعا. وأيا كانت الصيغة المستخدمة يجب الأخذ فى الإعتبار الإهتمام عند حساب العمق المحدد وذلك عندما يكون الجسم المسبب للشذوذ له حجم محدود وكتلته غير متمركزة عند المركز، حيث سيكون أى تقدير للعمق فوق التقدير. وأيضا ستعطى قيمة تقريبية للعمق فى حالات أخرى، عندما تكون جميع المركبات المكونة للصخور لها تقريبا نفس فروق الكثافة (جميعها سالبة أو جميعها موجبة). وأيضا هذه المعادلات لاتكون مؤثرة للأجسام المعدنية المضغوطة كما فى جدول (3-3) هذا الجدول يمثل صيغ رياضية لأشكال هندسية مختارة. هناك عدة طرق لتحديد العمق منها



شكل (3-41 أ): خريطة شاذة بوجير لـ جيرنى، هيرم، وجيتيو، قناة الجزر، ب) نموذج ثلاثى الأبعاد لشكل أساسى (تلاسفليا) ميناء ست بيتر (تباين كثافة 0.27 جم/سم^3) تكبير التجمع الرأسى 1:5 .استدل على خط الساحل وحدود منكشف الجابرو، لذلك فسر الجابرو كاكوليت (تداخل قبى) قطرة تقريبا 4 كم وسمكه 0.8 كم (بردن وآخرين (Briden et al 1982



شكل (3-42): تمثيل شاذات جاذبية عبر أشكال هندسية أ) كرة أواسطوانة أفقية محورها الطويل عمودى على الورقة، ب) اسطوانة رأسية، ج) نصف لوح أفقى لانهائى (شاذة بوجير تكون مسطحة عندما s' cord منشور رأسى قائم الزوايا. هـ) مشور أفقى قائم للزوايا

1.3.2.6.3 المثال الآتى يوضح حساب عمق نموذج للكرة:

من شكل (3-43) وجدول (3-3)

$\Delta g_{max} = 0.048$ ميللجال

$X_{1/2} = 2.2$ متر

$\delta\rho = 2.5$ جم/سم^3

$\therefore Z = 1.305 \times 2.2 = 2.87$ متر (3-26)

إيجاد نصف قطر الكرة

$r^3 = 0.048 \times (2.87)^2/(0.0286 \times 2.5)$

$= 5.53$ متر ^{3}

$\therefore r = 1.77$ متر (3-27)

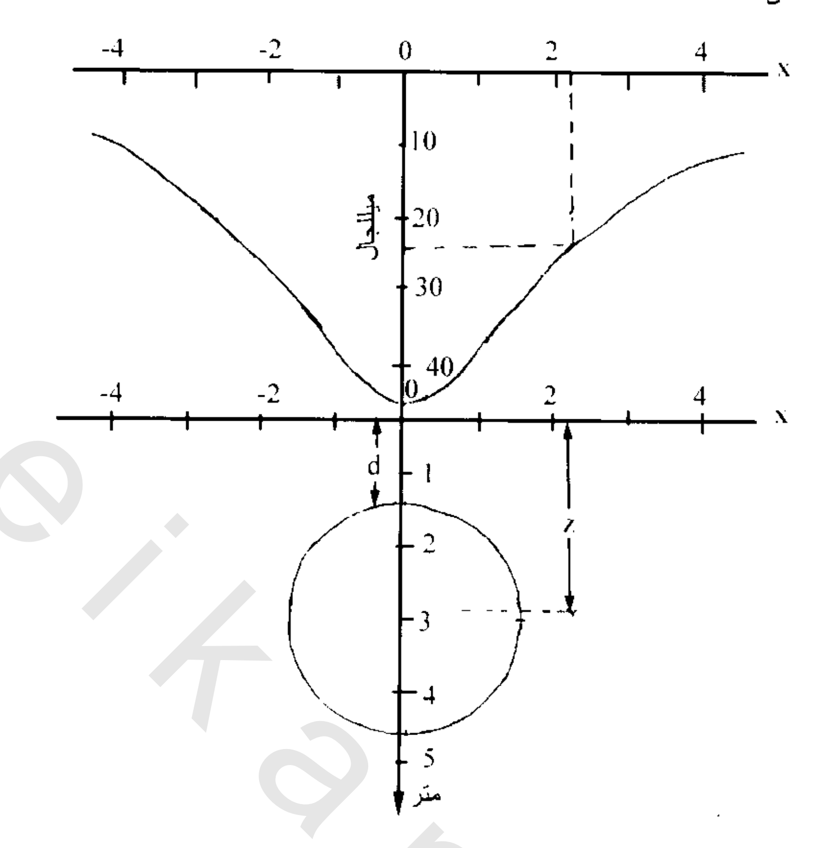
من المعادلتين (26-3)، (3-27)

$\therefore$ (d) العمق لقمة الكرة = 2.87 ñ 1.77 = 1.1 متر

جدول (3-3) تحديد أعماق لبعض اشكال هندسية

الشكل	الصيغة	ملاحظات
كرة Sphere	$^{*}Z=1.305X_{1/2}$ $^{**}d=z-r$	Z العمق لمركز الكرة، d العمق لقمة كرة نصف قطرها r $r^3=Dg_{max}(Z^2/0.028dr)^{***}$
الأسطوانة الأفقية Horizontal cylinder	$Z=X_{1/2}$ $d=Z-r$	Z العمق لمحور الإسطوانة ، d العمق لقمة اسطوانة نصف قطرها r $r^2=\Delta g_{max}^{****}(Z/0.042\delta\rho)$
الإسطوانة الرأسية Vertical cylinder	$Z=1.732\ X_{1/2}$	Z العمق لقمة النهاية
لوح رفيع مائل Thin dipping sheet	$Z=0.7\ X_{1/2}$	Z العمق لقمة اللوح عندما Z ~ ميل الطول للوح، Z>> ميل الطول للوح. عندما يكون الطول كبير جدا أوميل اللوح أقل من 60°، r، لايكون الحل ممكنا.
المنشور السميك Thick prism	$Z \approx 0.067X_{1/2}$ $Z \approx 0.033\ X_{1/2}$	Z عمق قمة المنشور = عرض المنشور والعمق لقاعدة المنشور تكون ضعف العرض، وذلك عندما يكون عمق قاعدة المنشور عشرة مرات عرض المنشور

* فى كلا الحالات تدير Z يكون غير معتمد عليه جيدا.
** جميع المسافات بالمتر إذا لم يوجد حالات خلاف لذلك
*** كيلوجرام/متر ^{3}
**** بالميللجال



شكل (3-43): نموذج شذوذ جاذبى عبر فجوة مملوءة هواء ذات نصف قطر 1.77 متر وعمق 2.87 متر للمركز فى صخور ذات كثافة 2.5 جم/سم^3

2.3.2.6.3 طرق سميث Smith Rules:

بعد إعادة تنظيم ما يعرف بقواعد سمث 1959, 1960، أصبحت هذه القواعد ملائمة لحساب الأعماق المحددة وفيما يلى هذه القواعد:

(i) عزل الشذوذ الكلى Isolated Entire Anomaly:

$\Delta g`_{max}/\Delta g_{max} \times C \geq d$ (العمق)

حيث $\Delta g`_{max}$ = الميل، Δg_{max} = أكبر قيمة للشاذة، C = 0.65 للبعد الثنائى، C = 0.86 للبعد الثلاثى.

(ii) عزل جزء عن الشذوذ الكلى عند نقطة Isolated Part of an Anomaly for Any Point X: X

$\Delta g_X/\Delta g`_X \, K \geq d$

حيث Δg_X قيمة الشاذة عند النقطة المحددة، $\Delta g`_X$ = الميل عند هذه النقطة، K = 1.00 للبعد الثنائى، K = 1.5 للبعد الثلاثى.

(iii) عند أكبر قيمة لفرق الكثافة وأكبر قيمة للميل الأفقى الثانى

For a Maximum Density Contrast $\delta\rho_{max}$ and Maximum Value of the Second Horizontal Gradient:

$\delta\rho_{max}/\Delta g``_{max} \, G \, 5.4 \geq d$

حيث $\delta\rho_{max}$ = فرق أكبر كثافة، $\Delta g``_{max}$ = أكبر قيمة للميل الأفقى الثانى الطريقة ii, i تستعمل طريقة نسبة التدرج السعوى. شكل (3-46) يعتبر أن أى جسم جيولوجى يعطى قيمة الشذوذ الجاذبى المستخلص الكلى لأى إشارة (سالبة أو موجبة) بقيمة جاذبية عظمى Δg_{max}، والذى يتغير على طول خط البروفيل، ولهذا فإن التدرج الأفقى يصل لأكبر قيمة عند $\Delta g`_{max}$. وتوضح طرق سميث العلاقات المختلفة بين العمق المحدد d لقمة أى جسم جيولوجى وأكبر قيمة للجاذبية $\Delta g_{max}$ وتدرجها الأفقى $\Delta g`_{max}$ كما هو موضح فى iii, ii, i.

4.2.6.3 تحديد الكتلة Mass Determiantion:

الشذوذ الكتلى هو الإختلاف فى الكتلة بين الظاهرة الجيولوجية (المراد حسابها مثل الكرة) والصخور المحيطة. وهناك طريقتين أساسيتين للحساب. أحداهما من زيادة الكتلة إلى الكثافة العالية للجسم والأخرى لنقص الكتلة بسبب جسم له كثافة منخفضة.

<u>الطريقة الأولى:</u> تستخدم طريقة تقريبية على أساس شذوذ جاذبى لنصف العرض ($X_{1/2}$) وبفرض أن الظاهرة الجيولوجية تقريبا لها شكل هندسى مثل الكرة (الكتلة الكلية M = ثابت × شذوذ جاذبى لنصف العرض × مربع نصف العرض، والثابت =255). فى المثال الآتى، الكتلة الحقيقية لهواء يملأ كهف مهمل، لذلك حساب نقص الكتلة يساوى كتلة الصخر الناقص.

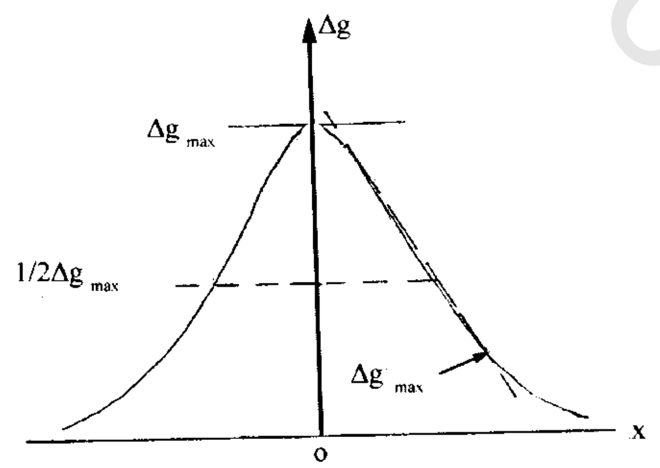
مثال: من المثال السابق لحساب العمق، فإن النقص الكلى لكتلة الكرة يساوى كتلة الصخر فى التجويف مضروبا فى كثافته (2.5 جم/سم^3)

الكتلة = الكثافة × الحجم = 12.5 x π4/3 x 1.77 (نصف القطر) = 58 طن

وباستخدام نتائج الجاذبية فإن الكتلة $255 \times 0.048 \times (2.2)^2 = 59$ طن.

<u>الطريقة الثانية:</u> موضوعة على نظرية جاوس Gaussís theorem فى نظرية الجهد (جرانت ووست Grant & West 1965) وهى مهمة للسببين التاليين:

1) الشذوذ الكتلى الكلى للظاهرة الجيولوجية (مثل الكرة) يمكن حسابه من الشذوذ الجاذبى المصاحب بدون أى افتراضات.



شكل (3-44): حساب العمق، طريقة نصف العرض وطريقة نسبة التدرج السعوى

2) الشذوذ الكتلى الكلى مهم فى تحديد الوزن بالطن لخامات المعادن (همر Hammer 1945) ولكى تكون هذه الطريقة مؤثرة فمن المهم إزالة المجال الإقليمى الجاذبى وعزل الشواذ المتبقية بوضوح. وتقسم المنطقة الممسوحة جاذبيا إلى سلسلة من الحلقات وكل منها يقسم إلى قطع من المساحات $\delta\Delta$. ويحدد التأثير الجاذبى لكل قطعة ثم يجمع هذا التأثير الكلى لجميع القطع ولتحديد الكتلة الزائدة (M) فأبسط طريقة لحسابها يجب معرفة كثافة الصخور المحيطة ρ_o وكثافة جسم الكتلة ρ_1.

مثال:

1) الشاذة الكلية للكتلة (M_E) Total Anomalies Mass:

$$M_E = 23.9\ \Sigma\ (\Delta g \delta A)$$ طن

حيث Δg ميللجال & δA قطع المساحات بالمتر.

2) الكتلة الحقيقية للجسم الجيولوجى (M):

$$\therefore\ M = M_E\ \frac{\rho_1}{(\rho_1 - \rho_o)} (\rho_1 > \rho_o)$$ طن

7.3 تحليل وتفسير نتائج الجاذبي Analysis and Interpretation of Gravity Data:

النتائج النهائية للمسح الجاذبى (بعد تطبيق جميع التصحيحات) عادة ما توضع فى صورة خرائط شذوذ جاذبية أو خرائط شذوذ بوجير (Gravity anomaly map or Bouguer anomaly map) وغاية تفسير خرائط الجاذبية هو إستنتاج التركيبات الجيولوجية التحت سطحية. وتعنى شاذات بوجير الموجبة والسالبة أكثر من مجرد دلالة على زيادة أو نقص الكتل. والهدف النهائى للجيوفيزيائى هو أن يستنتج من الخواص المختلفة للشذوذ (السعة – الشكل – الحدة) مكان وشكل التركيب الجيولوجى التحت سطحى الذى ينتج الإضطراب الجاذبى. لذلك يجب تحليل نتائج الجاذبية بطرق تفسيرية ملائمة. ومن المهم لكل من يستخدم نتائج الجاذبية (خاصة الجيولوجيين) أن يتحقق بأنه بالرغم من الإستخدام الجيد لطرق ملائمة لتفسير النتائج فإنها ليست عملية قاطعة الوضوح والتى لايعتمد عليها لإجابة واحدة*.

1.7.3 صعوبات فى تفسير الجاذبية Difficultie sin Gravity Interpretation:

يوجد خاصيتين للمجال الجاذبى تجعل التفسير الواحد غالبا مستحيل:

الأول: أن قيمة القياسات للجاذبية (g)، وبالتالى أيضا قيمة الشاذة المخففة (المصححة) Δg_B عند أى محطة تمثل تأثير كتل إضافية موزعة من أسفل لأعلى. وغالبا لاتكون خريطة الجاذبية (أو البوجير) فى صور مبسطة لشاذة مفردة معزولة (أو مستخلصة) ولكن عمليا دائما ما تكون مجمعة من الشاذات الحادة نسبيا والعريضة والتى يكون مصادرها عند أعماق مختلفة. ولذلك يكون التفسير المقدم والملائم يأتى بعد فصل هذه المصادر المختلفة بواسطة طرق مختلفة كما سيأتى بعد. ومن المشاكل

* نفس هذه المسألة تواجه عند تطبيق طريقة المغناطيسية ولذا فإن ما يطبق فى طريقة الجاذبية يطبق أيضا على طريقة المغناطيسية.

لأى طريقة تستخدم يكون من الصعوبة عملية فصل الشواذ عن حقيقة الواقع لأنه لايمكن تقسيم الوحدة إلى أجزاء مدون حصر حالات الوضع.

الثانى: وهو أكثر أهمية حيث الصعوبة فى تفسير الجاذبية لتحديد المصدر من تأثيرها والتى يكون عكس مشكلة نظرية مجال الجهد. فمثلا لتوزيع كتلة معطاة (أو مصدر كتلى بسيط) يكون من السهولة تحديد التأثير الجاذبى لها ولكن عكس المشكلة (وجود مجال جهد ويراد تفسير مصدره) لايوجد حل واحد. فمثلا إذا كان هناك توزيع شذوذ جاذبى على الأرض اوفوقها فإن هذا الشذوذ يكون له أكثر من توزيع كتلى ينتج هذا الشذوذ. شكل (3-45).

يوضح ميل لشاذة جاذبية لها أكثر من توزيع كتلى ففى شكل (3-45أ) يمثل طبقة من الصخور لها كثافة أكبر من الصخور المحيطة بها. فى شكل (3-45 ب) يمثل تركيب سرج (نتق). .Horst st، حيث الرميه العليا بين الفالقين لها كثافة أكبر كما أنها أقرب من السطح. فى شكل (3-45 ج) يمثل تركيب طيه محدبة Anticline حيث قمة الطيه ذات كثافة أكبر من الصخور المحيطة بها وقريبة من السطح، وعامة فى تفسير خرائط الجاذبية (خريطة الجاذبية أو خرائط المتبقيات) أو البروفيلات عبر المساحات حيث التركيب تحت سطحى لايكون معروف فإن المحاولة الوحيدة لاتعكس النتيجة. وهذه العملية لاتكون عكسية كلية فبينما تعطى الكتلة المدفونة تأثير جاذبى واحد متوقع عند أى نقطة مختارة على السطح فإن أى بروفيل جاذبى سينتج (بسبب فيزيائية فقط) بواسطة عدد من توزيعات الكتل الممكنة.

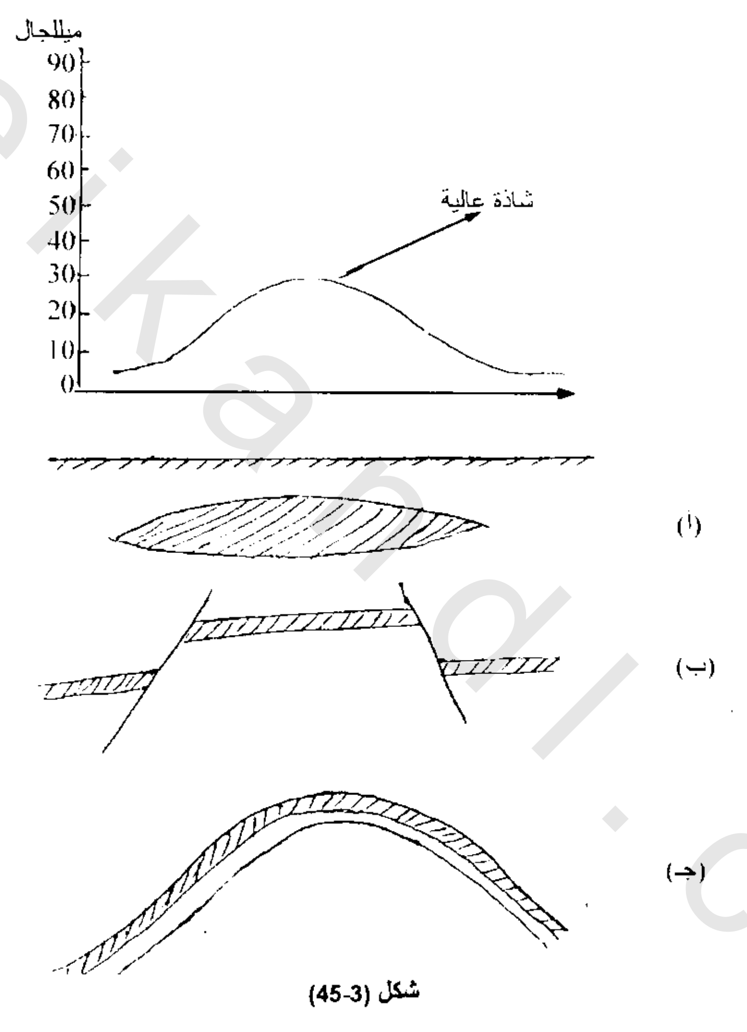
فى شكل (3-46) يلاحظ تركيبين مختلفين من التركيبات التحت سطحية (نفس الشاذة الجاذبية وذلك لغياب المعلومات الجيولوجية، حيث أنه فى النموذجين التركيبين (3-46أ)، (3-46 ب) نجد أن فرق الكثافة بين الصخور ثابت. ففى (3-46 أ) يشير النموذج لصخور قاعدة تعلوها صخور رسوبية بفرق كثافة بينهما 0.2، أما فى (3-46 ب) فإنه يدل على وضع جيولوجى مختلف حيث يخترق الشيست بواسطة تداخل صخرى ذا كثافة أعلى من كثافة الشيست ويعلوهم الصخور الرسوبية ومع ذلك يعطى هذا الشكل نفس الشاذة لأن فروق الكثافة بين الصخور 0.2. لذلك يكون نادرا أن يقوم الجيوفيزيقى بتفسير التركيب التحت سطحى من قيم الجاذبية فقط لهذا فإن الإعتماد على نتائج الحفر أو النتائج السيزمية يقلل من غموض التفسير.

بالإضافة لذلك، فإن هناك غموض آخر فى التفسير ناتج من عدة شاذات لشكل هندسى واحد، فمثلا كتلة كروية لها حجم معين وتباين كثافى فإنها من الممكن أن تعطى مجموعة من الشاذات من خلال قياسات مضبوطة. أى إذا كان هناك كرة لها حجم كبير وتباين كثافة نسبيا صغير فإنها تعطى مجموعة شاذات متساوية بوضوح تام مع كرة لها حجم صغير وتباين كثافى نسبيا كبير، أى أنه يوجد عدد من الشاذات لمثل هذه الكرات. وعن غموض التفسير للجاذبية (أو المغناطيسية) أن بعض الأشكال الهندسية لتوزيع الكتل تعطى نفس الشاذات. لذلك يجب تعيين هذا الغموض مسبقا بالإستعانة بالعاملين المؤثرين أحجهما تباين الكثافة والآخر حجم الأجسام المسببة لشاذات الجاذبية.

8.3 فصل الشاذات: الإقليميات والمتبقيات (المحليات)

Isolation of Anomalies: Regional and Residuals (Locals):

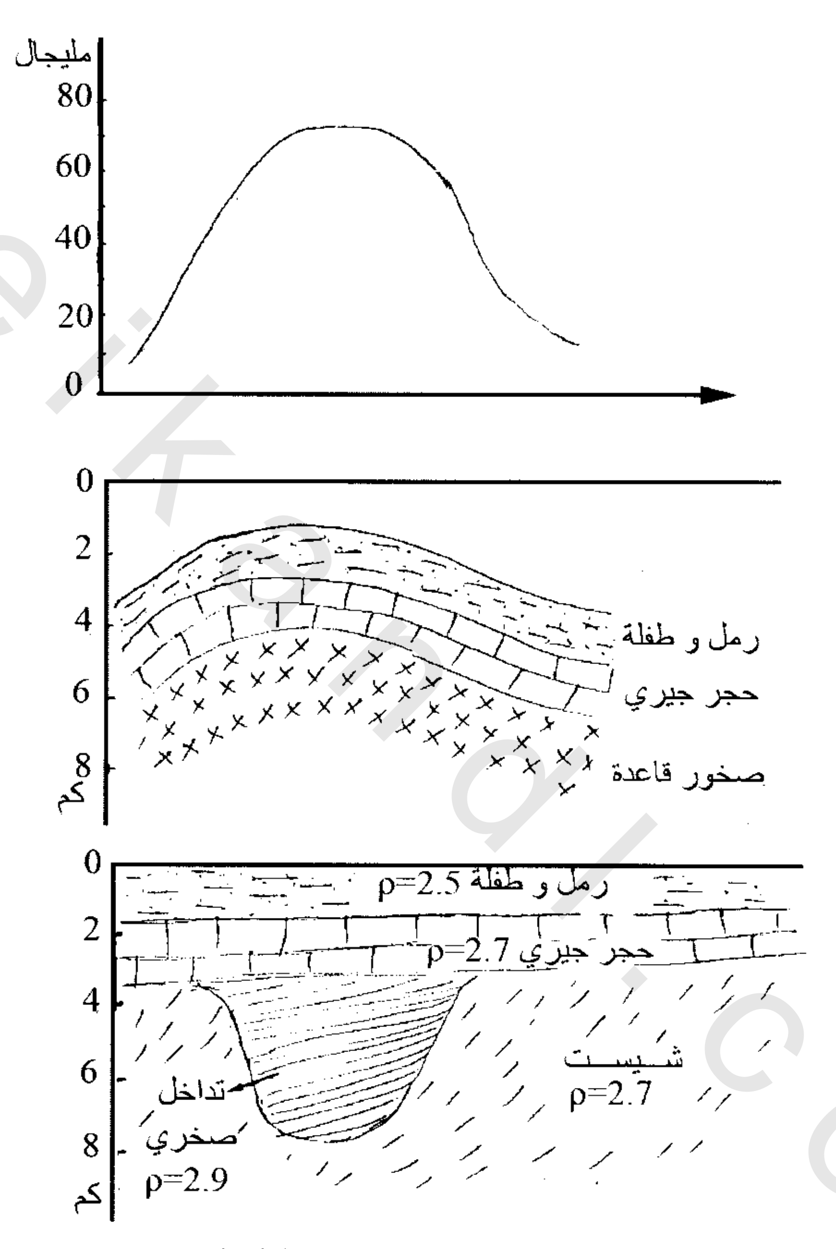
حيث أن الشاذات الجاذبية المفتوحة تدل على تركيبات جيولوجية مفتوحة ومن الصعب دراسة الجيولوجية التحت سطحية المحلية منها والتنبؤ بالخامات الموجودة بها. لذا نلجأ إلى طرق فصل الشاذات للحصول على شاذات جاذبية مقفلة (طيات – فوالق – قبب ملحية وغيرها) والتى تحتوى على المواد البترولية والخامات المعدنية والمياه الجوفية شكل (3-47).



شكل (3-45)

وعندما تكون الشاذة الجاذبية لظاهرة جيولوجية نسبيا صغيرة تظهر كتشوه (التواء) صغير لمجال الشاذة بسبب إتساع التركيب القشرى. وهذا التأثير الأخير يمكن ملاحظته عبر مسافات كبيرة ولذلك يكون ما يسمى بالشواذ الإقليمية Regional anomalies، وعلى النقيض (على العكس) فإن الشواذ للتركيبات الصغيرة تكون ما يسمى بالشاذة المحلية (local anomalies). وفصل الشاذة المحلية من أهم الأوليات فى التطبيق التنقيبى بينما الشواذ الإقليمية غالبا ما تكون هامة لدراسة القشرة الأرضية. وويوجد عدة مصادر للشواذ الإقليمية فبالإضافة إلى التركيبات الجيولوجية ذات المقاسات الكبيرة يوجد تاثيرات للكثافات الناتجة من التغير الليثولوجى لصخور

القاعدة، وفى مساحات معينة ربما يكون التغير الإقليمى بسبب تأثيرات توازن القشرة الأرضية isostatic المصاحبة لشواذ الكثافات العميقة والتى تنتج من سطح الموهو Moho (هو السطح الفاصل بين الستار والقشرة الأرضية).



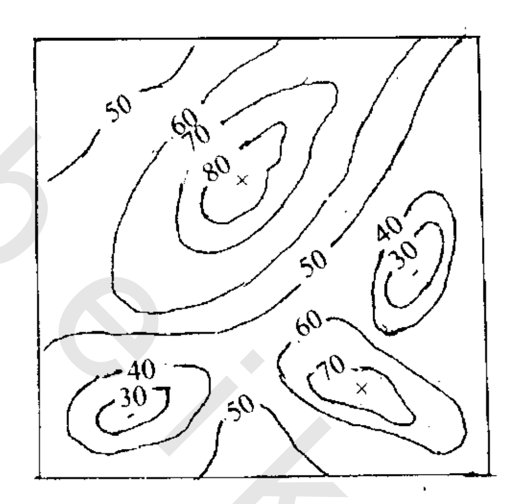
شكل (3-46): تفسير تبادلى فرضى لشذوذ جاذبى

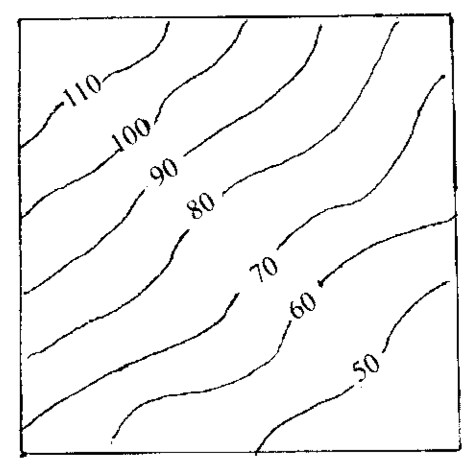
أ) شكل سطح صخور القاعدة والتى حسب منها الشاذة إذا فرض أن تباين الشاذة (ρ = 0.21) عند الخط الفاصل

ب) تفسير آخر والذى يتفق مع نفس النتائج، تباين الشاذة (ρ = 0.2)

جـ) خريطة شاذات جاذبيسة مقفلة المسافة الكنتورية 10 ميللجال

وغالبا ماتنتج صعوبات عندما تكون الشاذات لعدة كثافات إما من التركيبات المحلية أو الإمتدادات الإقليمية وتحدث تقارب لبعضها البعض ولذلك لايمكن تحليل تأثيراتها الفردية بسهولة.





شكل (3-47):

أ) خريطة شاذات جاذبية مفتوحة

فى أغلب مناطق المسح الجاذبى للمساحات الممتدة والتى يكون بها ظواهر تركيبية عميقة مسببة بذلك تغيرات فى الجاذبية على السطح أكبر من التركيبات العادية الهامة فى التنقيب. والتدرج الإقليمى غالبا يشوه تاثيرات التركيبات المحلية مثل القبة الملحية أو المنحدرات المدفونة (الطيه المحدبة) والتى تعتبر مصايد بترولية هامة. ولهذا السبب يجب فصل التأثيرات الإقليمية لتوضيح الظواهر التركيبية المحلية الهامة من خرائط الجاذبية. يوجد عدة طرق لإزالة هذه الجاذبية الإقليمية لكى تظهر المتبقيات Residuals (تمثل الجاذبية المحلية)، بعض هذه الطرق خطى Graphical والآخر تحليلى Analytical.

1.8.3 الطريقة الخطية Graphical Method:

تعرف أحيانا كتصحيح إقليمى، وهى واحدة من أقدم وأكثر الطرق تقليدية لعمل هذا الفصل أو التصحيح، ويكون بتسوية خطوط كنتور الشذوذ ذات القيمة الواحدة، وذلك برسم خطوط كنتورية متساوية (تقريبا خطوط مستقيمة) وطرح قيمة مجموعة الكنتور المتساوية من خطوط الكنتور الملاحظة بالخريطة وذلك لإظهار خطوط الكنتورات المتبقية، وترسم بعد ذلك كنتورات جديدة بين تقاطعات الكنتورات الملاحظة والإقليمية* ويمثل الفرق المتساوى كنتورات المتبقيات. وتمثل هذه الكنتورات الناتجة أشكال مقفلة منخفضة القيمة شكل (3-48).

إذا رسم مقطع جاذبى عبر مركز الشاذة الممثلة فى شكل (3-47) فإن الإتجاه الإقليمى يمثل بواسطة خط مستقيم متصل بنهائى البروفيل على جانبى ظاهرة الشاذات وهذا واضح فى شكل (3-49). وفى هذا الشكل يرسم بروفيل المتبقيات أسفل بروفيل المقطع الملاحظ (المقاس) وذلك بواسطة طرح القيمة الإقليمية المقدرة من الجاذبية الملاحظة عند كل النقط على طول البروفيل.

* خطوط الكنتور المتساوية

2.8.3 طرق التحليل Analytical Methods:

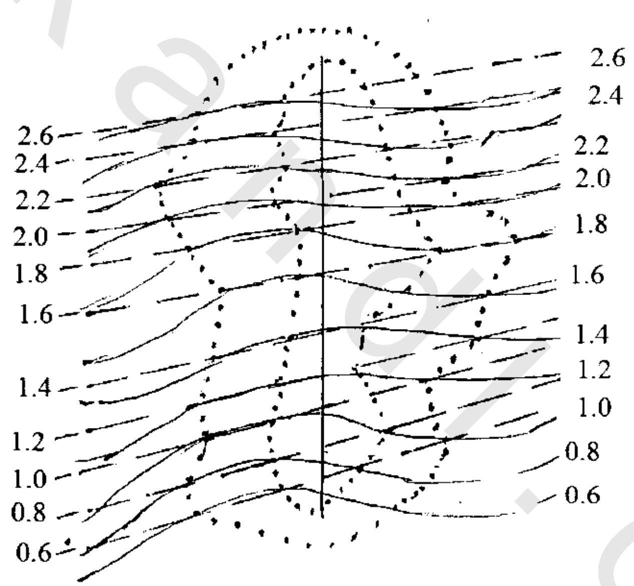
1.2.8.3 الطريقة المباشرة لحساب المتبقيات Direct Computation of Residuals:

إحدى هذه الطرق وصفت بواسطة جرفن Griffen وتشمل متوسط قيم الجاذبية على طول محيط دائرة أو ثمانى منتظم (Regular Polyhedron) مركزها عند النقطة المراد حساب المتبقيات عندها. هذه الطريقة موضحة بشكل (3-50)، o النقطة المراد حساب المتبقيات عندها.

(قيمة الجاذبية عند المركز المراد حساب المتبقيات عندها) $\Delta g = g_o$ (المتبقيات)

$$-(g_1+g_2+g_3+g_4+g_5+g_6+g_7+g_8)/8 \qquad (3\text{-}28)$$

وبعد ذلك تنقل الدائرة إلى نقطة أخرى وهكذا إلى أن تنتهى نقط البروفيل الأفقى، ثم يبدأ نفس العمل على البروفيل الذى يليه إلى أن تنتهى الخريطة. ثم توصل نقط المتبقيات وتنتج بذلك خريطة المتبقيات Residual map.



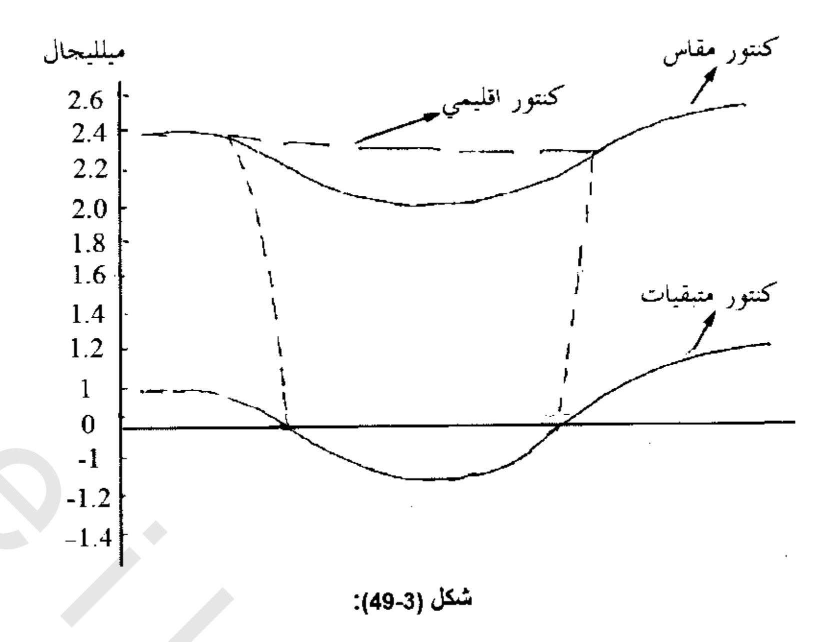
ـــــ الكنتور الملاحظ (المقاس) ميللجال

--- الكنتور المتساوى للاتجاه الإقليمى

.... كنتور متبقيات الجاذبية

0.6 ، .... ، 2.6 قيم بالميللجال

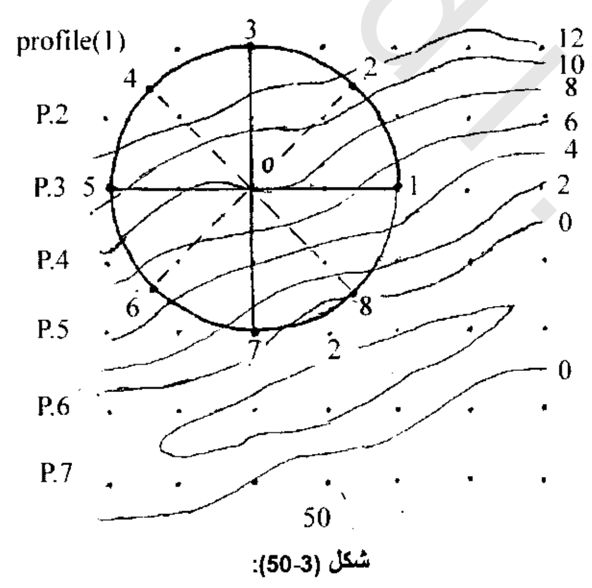
شكل (3-48):



شكل (3-49):

2.2.8.3 خرائط جاذبية المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية Second Vertical Derivative Gravity Map:

تستخدم هذه الطريقة مباشرة لتعيين المتبقيات (الشاذات المحلية) من معدل التغير فى الشاذة الإقليمية حيث أن معدل التغير فيها يكون ثابت تقريبا بينما يكون معدل التغير فى الشاذة المحلية سريع، ذلك فإن المصادر القريبة حتى ولو كانت صغيرة يكون لها تأثير كبير على التدرج الجاذبى أكثر من الجاذبية نفسها. وهذا يعنى أنه لو حسب معدل التغير بالنسبة للمسافة لكان كبيرا للشاذة المحلية وصغيرا جدا للشاذة الإقليمية ولذلك فإن المشتقة الأولى أو الثانية تعتبر وسيلة جيدة للتخلص من الشاذة الإقليمية شكل (3-51).



شكل (3-50):

o= النقطة المراد حساب المتبقيات عندها

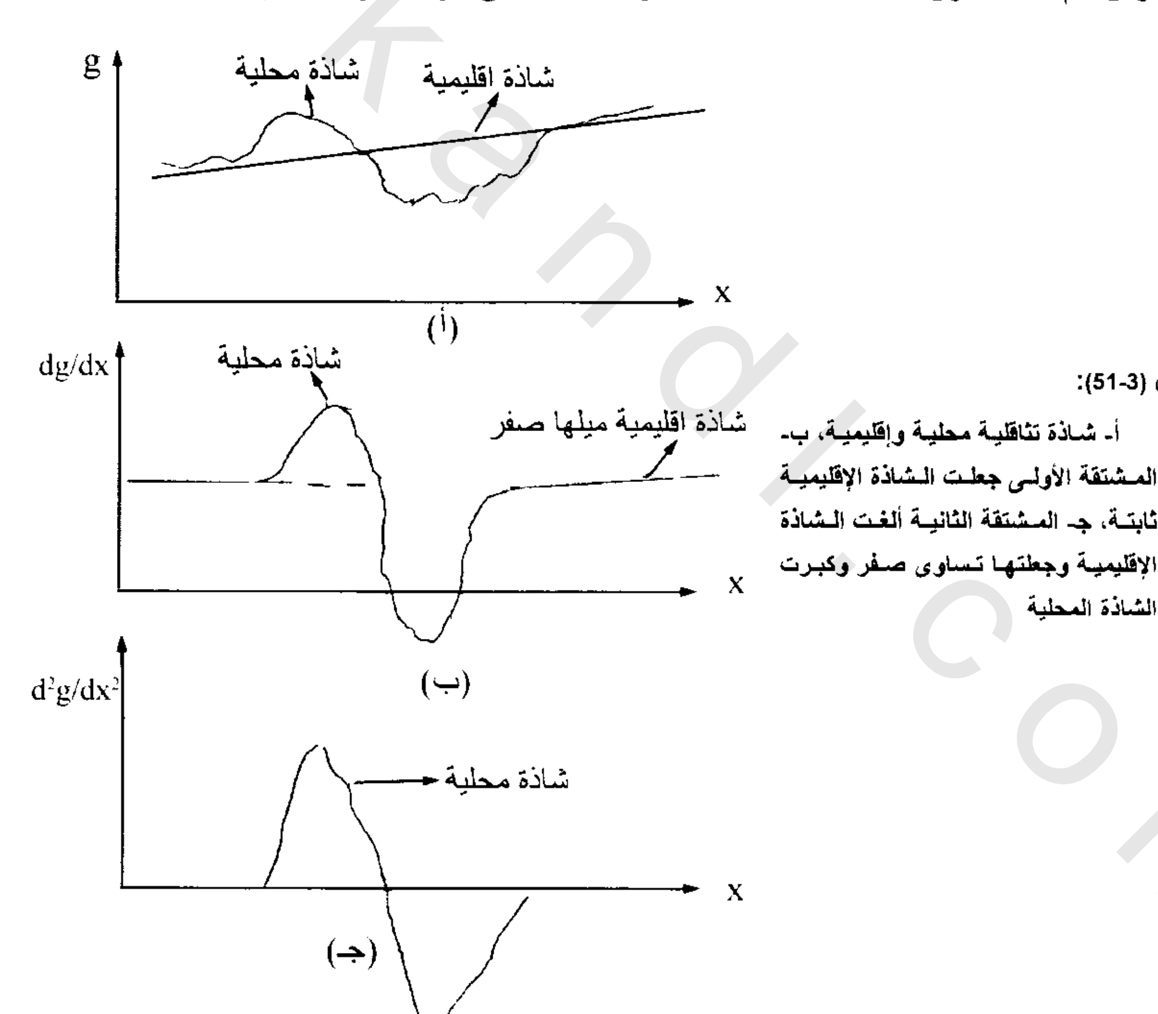
~ = الكنتور بالملليجال.

1, 2, 3, 8Ö النقط التى أخذت عندها القراءات

وتبعا لذلك يوجد سبب جيد للتوقع بأن الظواهر المحلية local features سوف تكون أكثر سيادية على الخريطة الواحدة من مشتقات الجاذبية عن خريطة الجاذبية نفسها، ولهذا تشير خرائط المشتقات للأماكن الموجود بها الشواذ المتبقية. وتقوم أهمية هذه الطريقة على حقيقة أن تتابع التفاضل للمركبة الرأسية للجاذبية مع العمق تشير للتأكد بوضوح أكثر للشاذات الجيولوجية الصغيرة والضحلة عبر الإمتداد الكبير للظواهر الإقليمية. وتوجد عدة أنظمة لحساب هذه الطريقة بواسطة تطبيق نظرية الجهد للمجال الجاذبى حول النقطة المراد الحساب عندها، والأنواع الشاملة للصيغ الرياضية اختزلت إلى خطط عملية للحساب. وتبعا لهذه الخطط فإن القيم من الشبكة المنتظمة للنقط تستخدم لتحديد المتوسطات حول الدوائر المختلفة الأقطار من نقطة المركز كما فى شكل (3-52) وأساس حساب معادلات الطرق المختلفة هى

حيث: D = قيمة المشتقة، C = ثابت لكل طريقة عملية، S = مسافة الشبكة، g_o = قيمة الجاذبية عند o (نقط الحساب) ,g_2, g_1 = متوسط قيم الجاذبية حول حلقات المتتابعة.

ومن أهم أمثلة الطرق المطبقة لحساب المشتقة الرأسية الثانية هى طريقة بيتر Peteris 1949



شكل (3-51):

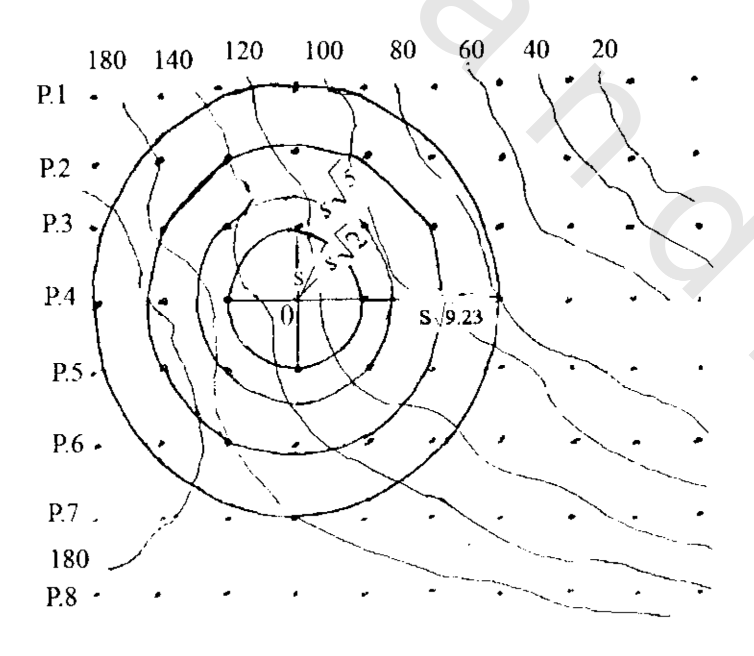
أ- شاذة تثاقلية محلية وإقليمية، ب- المشتقة الأولى جعلت الشاذة الإقليمية ثابتة، جـ المشتقة الثانية ألغت الشاذة الإقليمية وجعلتها تساوى صفر وكبرت الشاذة المحلية

$$D = C/S^2(w_o g_o + W_1 g_1 + \text{Ö}\ W_n g_n)$$

method

$$\frac{\delta^2 g}{\partial Z} = 1.156\, g(o) + 0.2569 g_1(s) - 0.4459\, g_2(S\sqrt{2}) - 1.359\, g(S\sqrt{S}) + 0.392\, g_4\, (S\sqrt{9.23}) \qquad (3\text{-}29)$$

حيث $\frac{\partial^2 g}{\partial Z^2}$ هى المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية عند نقطة o (المتبقيات) Ö , 0.2569, 1.156 ثوابت ، g_o = قيمة الجاذبية عند نقطة o المراد حساب المشتقة عندها، g_1S = متوسط قيمة الجاذبية لأربع نقط عند الدائرة التى نصف قطرها S، $g_2\ S\sqrt{2}$ = متوسط قيمة الجاذبية أربع نقط عند الدائرة التى نصف قطرها $S\sqrt{2}$ $g_4\ S\sqrt{9.23}$ = متوسط قيمة الجاذبية لأربع نقط عند الدائرة التى نصف قطرها $S\sqrt{9.23}$ وبعد ذلك تنقل إلى نقطة أخرى إلى أن تنتهى نقط البروفيل الأفقى الأول، ثم يجرى نفس العمل على البروفيل الذى يليه وبعد إنتهاء حساب الخريطة توصل قيم النقط المحسوبة من معادلة المشتقة الرأسية الثانية فتنتج بذلك خريطة المشتقة الرأسية التفاضلية الثانية (المتبقيات).

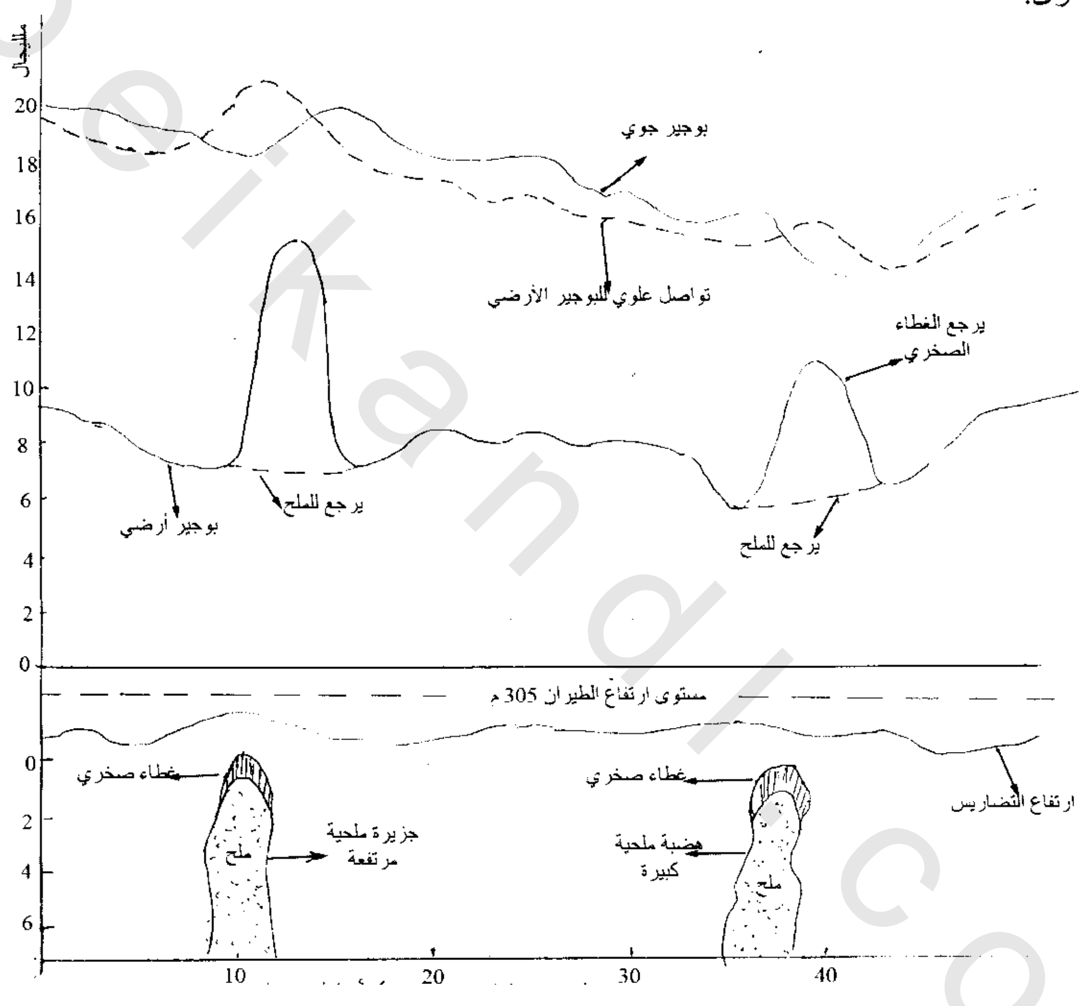


شكل (3-52): طريقة بيتر Petter لحساب المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية، o = النقطة المرادحساب المتقيات عندها، S = نصف قطر الدائرة الأولى، $S\sqrt{2}$ = نصف قطر الدائرة الثانية، $S\sqrt{5}$ = نصف قطر الدائرة الثالثة، $S\sqrt{9.23}$ = نصف قطر الدائرة الرابعة، ~ = الكنتور بالميللجال (المسافة الكنتورية 20 ميللجال)

3.2.8.3 تحليل إستمرارية المجالات Analytic Continuation of Field:

بواسطة عمليات رياضية يمكن تحليل المجالات (جاذبية ومغناطيسية) إلى مستويات مجالية أعلى أو أسفل. وعادة ما يعطى تحليل الإستمرارية العلوية (upward continuation) خريطة تنعيمية (smoothly map) للخريطة الأصلية وبذلك يمكن استعمالاها كطريقة تنعيمية مؤثرة لفصل الشاذات الناتجة من مصادر عميقة (فى المسح الجاذبى والمغناطيسى الجوى فإن التواصل العلوى يستخدم لحساب المجال عند المستوى الأعلى والنتائج

المحسوبة توافق باعتدال جيد للقياسات الحقيقية المأخوذة عند هذا المستوى). المثال الآتى شكل (3-53) يبين إستخدام التواصل العلوى فى مقارنة شاذات المسح الجاذبى الأرضى مع نتائج مسح الطيران وعادة تتواصل النتائج الأرضية لأعلى أكثر من عملها للتواصل السفلى حيث لاتكبر التشوهات (نتوءات) ويلاحظ من الشكل أنه يوجد قيمتين منخفضتين المصاحبتين لكثافة الملح المنخفضة لها موجات طولية قصيرة يعلوها (يركب عليها) قيم عالية والتى ترجع لوجود غطاء صخرى ذا كثافة عالية فوق القبب الملحية. هذه الزيادة فى الشذوذ تقل بزيادة الإرتفاع ويتفق هذا بين الفواصل العلوى لنتائج المسح الأرضى والمسح الجوى ماعدا التجاور المباشر للغطاء الصخرى.



شكل (3-53): مقارنة بين المسح الجوى والتواصل العلوى لنتائج المسح الأرضى

أما التواصل السفلى downward continuation فيستخدم لتحويل نتائج المجال المقاس فيه كقياسات إلى مستوى قريب أو غير شاذة المصادر ولذلك فإنه تستخدم خاصة فى تفريق (تحليل أوحل) التأثيرات المتراكبة للمصادر القريبة من بعضها، وربما إذا استمر التواصل لأعماق أكبر من العمق للظاهرة الكبيرة المحدده، فإن مجال التواصل سوف يبدأ فى إظهار تغيرات (تذبذب) قصوى. وربما يكون المستوى عند بداية هذه التذبذبات (التغيرات) فى حالات معينة تعطى دلالة مباشرة لعمق قيمة ظاهرة الشاذات منتجة المجال المعطى ولكن حقيقة فإنها تمد حدود لأكبر عمق مقبول (بيتر Peter 1949، همر Hammer 1963، ريو Roy 1966، أندرسون

Anderson 1966، كونستنتنسكو Constantinsco 1966) وبهذه الطريقة يمكن حساب المجال عند العمق الحقيقى للتركيب المدفون. وحساب هذه الطريقة تشبه طريقة حساب المشتقة التفاضلية الرأسية الثانية (S.V.D) مع نفس اختيار الدوائر (شكل (3-52) مع تغير ثوابت الوزن كما فى معادلة كونستنتنسكو Constantinsco 1966.

$$g(-d)=-8.395745\,g(0)+6.90410\sum_{i=1}^{4}g(s)-4.51741\sum_{i=1}^{4}g\left(s\sqrt{2}\right) \qquad (30)$$

حيث (g(-d هى نتيجة الإستمرارية السفلى عند نقطة o، & 8.395745 , 6.90410 ثوابت

g(o) = قيمة الجاذبية عند نقطة الحساب والمراد حساب التواصل السفلى عندها

$\sum_{i=1}^{4}g(s)$ = متوسط قيمة الأربع نقط حول النقطة الأصلية والموجودة عند أطراف منتصف قطر الدائرة والذى مقداره S.

$\sum_{i=1}^{4}g\,S\sqrt{2}$ = متوسط قيمة الأربع نقط حول النقطة الأصلية والموجودة عند أطراف منتصف قطر الدائرة الذى مقداره $S\sqrt{2}$.

9.3 التفسير بواسطة النماذج Interpretation by Models:

غالبا مايكون جميع تفسيرات نتائج الجاذبية تتم بواسطة طرق غير مباشرة حيث لاتوجد طريقة مباشرة لتحويل نتائج الجاذبية لجيولوجيا تحت سطحية.وتكون الطريقة العامة بفرض أشكال مختلفة بسيطة (موافقة مع القبول الجيولوجى) لمصدر الشاذة، وحساب تأثيرها الجاذبى عند السطح وتعديل هذه النماذج تدريجيا حتى يمكن الحصول على موافقة ملائمة مع الشاذة الملاحظة (المقاسة). ويدل التقارب الملائم فقط على أن النموذج المختار يكون الحل المقبول. وإذا كانت النتائج الجيولوجية غير كافية فربما لايمكن عمل أكثر من محاولة تجارب (محاولات) لاختيار مدى الحلول المتقاربة حتى يكون الحل الأكثر تشابه هو المطلوب.

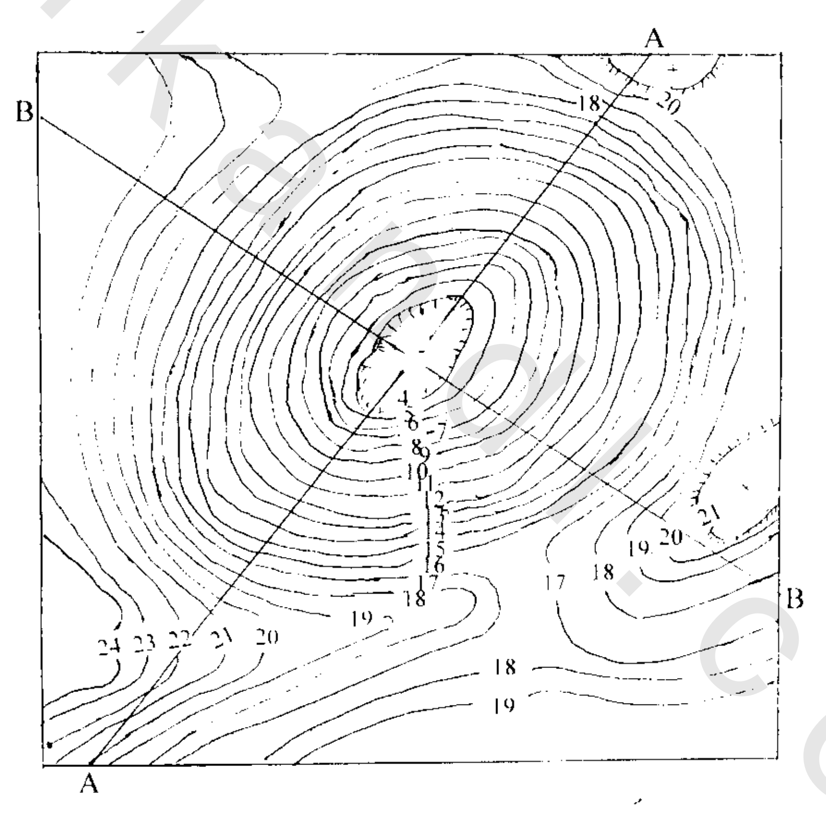
قبل إختيار النموذج لمحاولة الحسابات يكون من المهم فحص خريطة الشاذة الجاذبية بحرص لاستخراج لبعض الأدلة حول حجم وشكل الجسم الجيولوجى المسبب للشاذة. فعمليا الإستطالة لكنتور الشاذة يكون مفيد كدلالة لإتجاه وطول التركيب المسبب للشاذة. عند معرفة معلومات جيولوجية ملائمة لمساحة ما، لذلك عند إختيار نموذج لها يكون من العادة عمل شكل تقريبى هندسى بسيط للنموذج. وإستعمال نماذج معقدة للحصول على أحسن توافق بين الشاذة المحسوبة والمقاسة ربما تكون مبهمة إذا لم يوجد معلومات جيولوجية ملائمة أو تحكمات معتمد عليها. والتفسير باستخدام النماذج البسيطة يمكن توضيحه جيدا بواسطة المثال الحقلى الآتى شكل (3-54) فعادة ما تتميز الأجسام الملحية بجاذبية منخفضة (تقريبا 2.2 جم/سم^{3}) أقل من كثافات الصخور الرسوبية المحيطة بها. ومن الشكل نلاحظ أن الشاذة دائرية الشكل تقريبا لذلك يكون تأثير القبة الملحية سائدا حيث يلاحظ تأثيرها العام جيدا. وتكون السعة الكلية للشاذة Δg_{max} حوالى -16 ميللجال ومنتصف العرض $X_{1/2}$ تقريبا 3700 متر محددة من البروفيل NE-SW (A-A`) وبفرض الشكل الكروى لجسم الشاذات فيكون العمق لمركز كتلة

الملح Z_c حوالى 4800 متر وذلك بواسطة قاعدة نصف عرض $X_{1/2}$ 1.305. ومن السعة الكلية للشاذة يمكن تقدير نصف القطر R المكافئ للكرة ولذلك يتطلب بعض المعلومات عن متوسط تباين الكثافات للملح مع صخور الكريتاوى والرسوبيات القديمة عند عمق Z_C وإذا افترضنا أن هذا التباين يساوى 0.25 جم/سم^3.

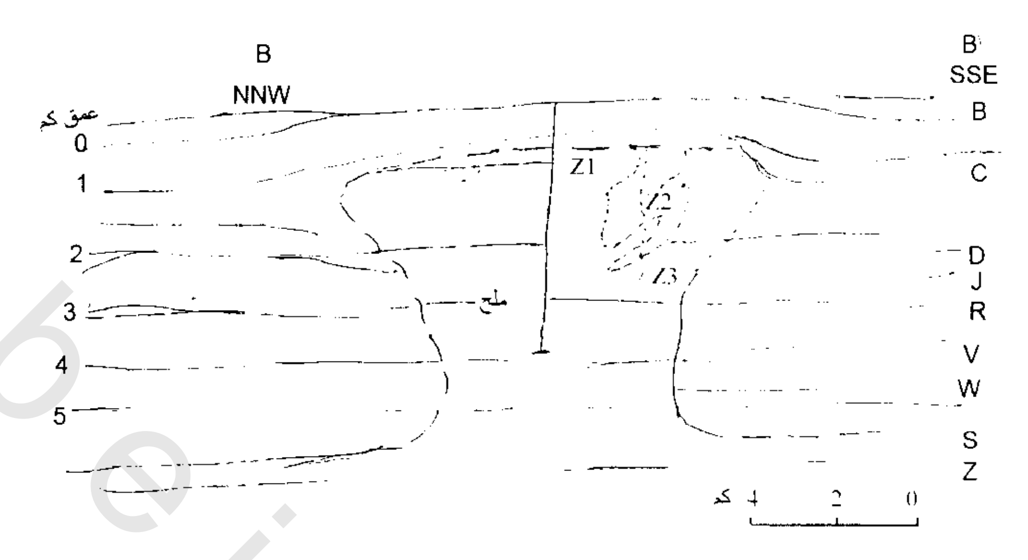
وباستعمال المعادلة

$$\Delta g = \frac{4\pi R^3 G\Delta\rho}{3Z^2}\frac{1}{(1+X^2/Z^2)^{3/2}} = \frac{\Delta g_{max}}{(1+X^2/Z^2)^{3/2}}$$

يمكن الحصول على قيمة R والتى تساوى 3800 متر وقيمة العمق لقمة القبه المحية Z_T تعطى بواسطة Z_C- R وفى هذه الحالة تساوى تقريبا 1000 متر. وإذا افترضنا أن تباين الكثافات = 0.2 جم/سم^3 فإن R = 4100 متر والعمق للقمة Z_T = 700 متر. وهذا التفسير السابق من الجاذبية فقط يتفق مع نتائج طريقة الإنعكاس السيزمية شكل (3-55) التى تمت بعدها على طول البروفيل B-B' فى شكل (3-54).



المسافة الكنترولية = 1 ميللجال شكل (3-54):



شكل (3-55) البروفيل السيزمى عبر بروفيل `A-A فى شكل (٣-٥٤) ويوضح عمق القطاع حيث B قاعدة الترشيرى، C قاعدة الكريتاوى العلوى، D قاعدة الكريتاوى السفلى، J قاعدة الجيوراسى، R قاعدة الرياتيك، V,W علامات الترياسك، S قمة زيشتاين، Z قاعدة زيشتاين

وهذا المثل يوضح أنه حتى بدون معلومات معينة على الكثافات أو على عمق القبة عند بعض النقط (مثل التى يحصل عليها من الحفر أو النتائج السيزمية) فالحساب البسيط للنموذج الكروى قادر على مد معلومات جيولوجية معينة حول المكان والعمق التقريبى وقياس تقريبى للقطر والذى يحيط جوانب القبة الملحية.

10.3 إستخدام الحسابات المساعدة وإعادة الطرق

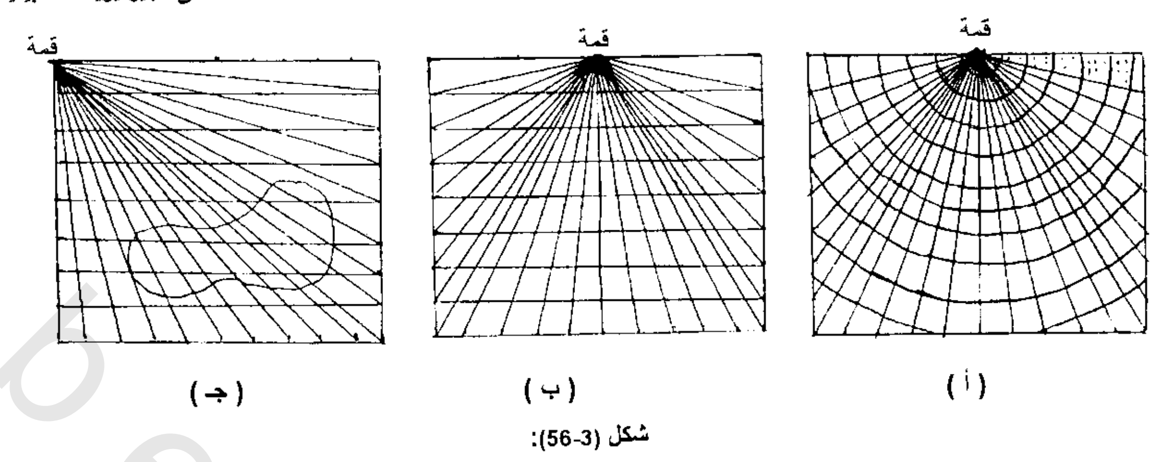
Use of Computational Aids and Iterative Techniques:

حساب الجاذبية لأجسام غير منتظمة الشكل تكون مطلوبة لتفسير مشاكل معينة. ويوجد عدد من الوسائل الخطية والطرق الميكانيكية القادرة على عمل تفسيرات حسابية بسرعة. وعامة تقسم الطرق المستخدمة كثنائى الأبعادوثلاثى الأبعاد. وحسابات الثنائى الأبعاد تكون ملائمة لمواقع يكون شاذات الكنتورات مستطيلة ويوجد عدة شبكات (graticules) لهذا الغرض وشكل (3-56) يوضح شبكات بسيطة والتى تستخدم لهذا الغرض.

11.3 الشبكات Graticules:

بمقارنة تأثير الجاذبية من التركيب التحت سطحى المفترض مع قيم الجاذبية الحقيقيية الملاحظة (المقاسة) لاتكون دائما ممكنة لحساب جاذبية الكتل الغير منتظمة بواسطة الوسائل التحليلية ولذلك تستخدم طبعات شفافة تسمى شبكات (Graticules) والتى توضع عبر مقطع عرضى للتركيب الذى حسب تأثير جاذبيته.

وتتكون الطبعات عامة من نموذج شكل مروحى من خطوط مكونة سلسلة من الحجرات وعبرها تزيد المساحات كلما زادت المسافة من قمة الطابعة. وتوضع القمة على محطة الجاذبية على القطاع والذى يمكن تحديده بعدد الحجرات المغطاة له على الطابعة. وفى معظم الشبكات، كل حجرة تمثل كثافة ثابتة والتى تساوى المشاركة للجاذبية عند المحطة. أنواع الشبكات.



شكل (3-56):

أ) شبكة منقطة تستخدم لحساب التأثير الجاذبى عند أى نقطة على السطح من جسم مدفون ثنائى الأبعاد.
ب) شبكة لحساب التأثير الجاذبى من تركيب ثنائى الأبعاد.
جـ) شبكة لحساب التأثير الجاذبى الرأسى لجسم غير متساوى الشكل.

1.11.3 فى شكل (3-56أ) كل حجرة تمثل المشاركة الجاذبية الرأسية عند المحطة المقاس وقيمة التأثير تدل بواسطة عدد من النقط فى الحجرة والدائرة (التى لاتكون كاملة فى تغطيتها لجزء من التركيب) تمثل 1/10 وحدة الجاذبية والحجرة المملوءة (التى تغطى تماما جزء من التركيب) تمثل وحدة جاذبية وقيمة كل وحدة بالميللجال تعتمد على مقياس القطاع العرضى والذى عليه وضعت الطابعة وأيضا على كثافة الجسم الذى يحدد تأثيره.

2.11.3 والشبكة الأخرى كما هى مبينة فى شكل (3-56ب)، وجميع الحجرات لها شكل شبه منحرف والخطوط الإشعاعية تخرج من القمة Vertex، ولذلك فإن كل خط يعمل زاوية مع الخط الذى يليه. وتستخدم كالشبكة السابقة ماعدا أنه ليس فى الحجرات نقط لتساعد فى عملية التفسير ولكن كل حجرة = $10x\rho^{-5}$ حيث ρ الكثافة وتكون الشاذة الكلية هى عدد الحجرات التى تقطع جزء من القطاع العرضى للنموذج الجيولوجى أى أن القيمة الكلية = $t \times x \;\; 10^{-5}$ حيث t عدد الحجرات.

3.11.3 أما شكل (3-55جـ) فتوضح استخدام الشبكة لحساب المجال الجاذبى الرأسى عند نقطة O لعينة جسم غير متساوى الشكل حيث تعد الحجرات المغطية للجسم وتقدر وتضاف للعدد الأصلى للحجرات.

ملحوظة: تستخدم هذه الشبكات لتحديد شكل التركيب الجيولوجى المتوقع من افتراضات الأشكال المرسومة للبروفيلات المأخوذة من خرائط الجاذبية وذلك فى غياب المعلومات الجيولوجية كما فى شكل (3-45)، (3-46).

12.3 الشاذة الجاذبية والجيولوجيا التركيبية Gravity Anomalies and Geological Structures:

تستخدم القياسات لدراسة كثير من أنواع التراكيب الجيولوجية يتراوح مداها فى العمق والحجم من كتل قشرية عميقة إلى أجسام خامات قريبة من السطح. عامة فإن الإختلاف الإقليمى الكبير فى الجاذبية تتعلق مع التغير فى سمك القشرة الأرضية أو بسبب الفرق الكبير فى عدم تجانس الكتلة. ومن جهة أخرى فإن قيم شاذات الجاذبية المحلية تشترك مع كتلة السطح القريب للكتل الغير متجانسة. وتتطابق الشاذات السالبة مع أحواض

الترسيب، الملح، التركيبات الجرانيتية والأحواض بينما تتفق الشاذات الموجبة مع تقبب (نتوءات القشرة الأرضية العليا-إرتفاعات)، هضبات إرتفاعية (سراجات(نتوقات))، الكتل المافيه*، وسنتناول هنا بعض الأمثلة والتى توضح بعض دراسات الجاذبية لبعض المشاكل المتعلقة بالتركيبات الإقليمية والمحلية. وفى نفس الوقت فهذه الأمثلة سوف تدل بالرغم من مشاكل الغموض فى التفسير على أن الشاذات الجاذبية تستطيع أن تعطى تفسيرات كافية حول التركيبات التحت سطحية وتوزيع الكثافات.

1.12.3 الأحواض الرسوبية أو البلوتن** الجرانيتى أو القبب الملحية

Sedimentary Basin or Granite Pluton or Salt Dome:

من المهم تفسير نتائج الجاذبية للبحث عن المواد الهيدروكربونية القدرة على التميز بين أحواض الترسيب (الحاوية على المواد الهيدروكربونية) والبلوتينات الجرانيتية (لاتحتوى على مواد هيدروكربونية) حيث أن كلاهما ينتج شواذ جاذبية سالبة. وتوجد الأمثلة لبعض المواقع فى العالم حققت هذه الظاهرة حيث وجد أن بعض الجرانيت الجوفى Granite pluton لها نفس القيمة المنخفضة المشتركة معها للأحواض الترسيبية. وقد اتفقت هذه الدراسات مع السيزمية الإنعكاسية. وفى عام 1962 وضع بوت Bott مقترحات لمجموعة من المعايير للتميز بين الأحواض الرسوبية والكتل الجرانيتية كتفسيرات للجاذبية المنخفضة. وقد وضعت البراهين على أساس المشتقة الرأسية التفاضلية الثانية (S.V.D) للشاذات الجاذبية الناتجة من نصف إمتداد بعدين لانهائى للوح أفقى ذا حافة مسلوبة. وقد وجد أن وحدة قياس النسبة لقيمة العظمى والصغرى للمشتقة الرأسية التفاضلية الثانية g_{max}/g_{min} تعطى معنى للتميز بين التركيبين الجيولوجين كالآتى:

1- بالنسبة لأحواض الترسيب (جوانب الحوض تميل للداخل) $g_{max}/g_{min} \geq 1.0$.

2- بالنسبة للكتل الجرانيتية (جوانبها تميل للخارج) $g_{max}/g_{min} \leq 1.0$.

وشكل (3-57) يوضح كيفية حساب هذه الطريقة. وهذه الطريقة غير مناسبة فى حالة امتداد النشاط التكتونى حيث تتشوه الأحواض الرسوبية بواسطة أحواض صغيرة وكذلك البلوتنالجرانيتى (الجرانيت الجوفى) بواسطة فوالق معقدة ولذلك يتغير التدرج لجرانيت كلا النوعين.

وبالإضافة إلى الأحواض الرسوبية ومقارنة نتائجها بنتائج الكتل الجرانيتية فيشترك معهم فى خاصية الشواذ المنخفضة القباب الملحية كما فى شكل (3-58) كما تشترك معهم فى التركيبات الجيولوجية والانحداران.

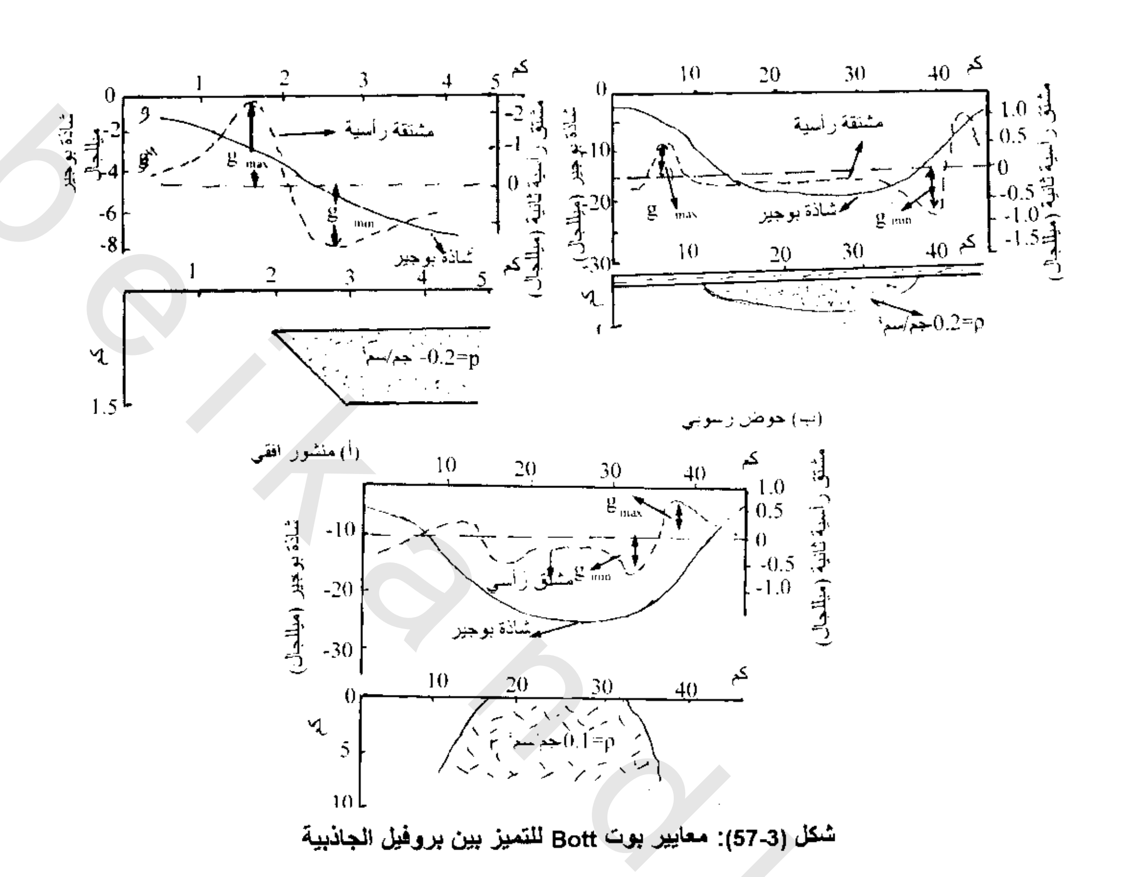
2.12.3 الوديان الخسيفة (الأخدودية) والأحواض الرسوبية Rift Valleys and Sedimentary Basins:

ويرى المسح الجاذبى شاذات سالبة كبيرة نسبيا تحدث محليا عبر الوديان الخسيفة. مثال ذلك فى هضبة شرق أفريقيا فبعض الوديان الخسيفة يصل فيها الشذوذ الجاذبى إلى (-50 ميللجال) كما هو ملاحظ عبر بروفيل شاذة بحيرة البرت (جلدر Gilder 1964) والنموذج المحسوب لها شكل (3-59)، ويتضح من الشكل أن القيمة المقاسة تتفق مع النموذج المحسوب (المنحنى المشرط) للرواسب المالئة لوادى الخسف المتكون بواسطة فوالق عادية.

* الكتل التى يكثر فيها معادن الحديد والمغنسيوم mafic mass.

** أجسام الصخور النارية أو الشبيهه بالنارية تتكون إما من تصلب الصهارة أو التأثر الصهارى فى صخور قديمة أى هى صخور جوفية ذات حبيبات خشنة.

تتكون الأخاديد بواسطة شد جانبى بالقشرة الأرضية، ويوضح شكل (3-59) بروفيل الشاذة بوجير عبر جزء مركز الأخدود وبمقارنة شكل (3-59) بشكل (3-57 ب) يتضح أنهم يشتركان فى إنخفاض قيمة الشاذة الجاذبية وكذلك شكل البروفيل.



شكل (3-57): معايير بوت Bott للتميز بين بروفيل الجاذبية

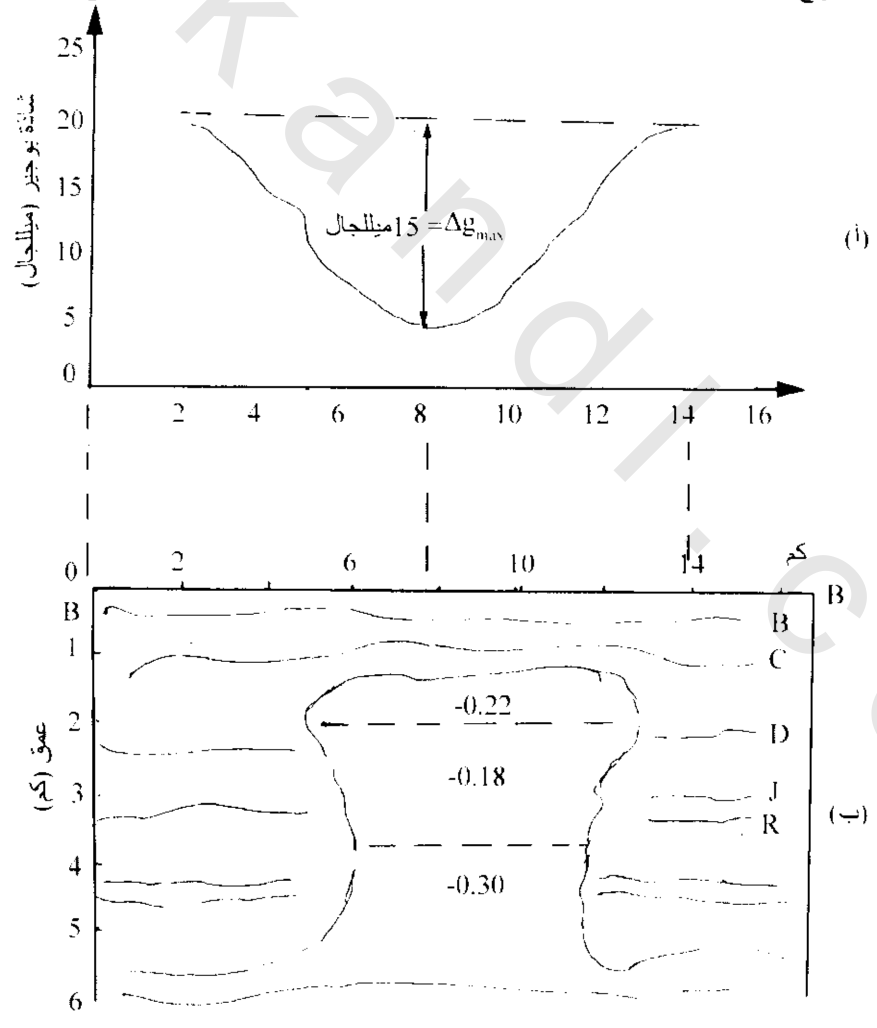
3.12.3 تركيبات الحواف الساحلية، نتوءات المحيطات، والأخاديد

Structure of Coastal Margins, Oceanic Ridges, and Trenches:

برهن المسح الجاذبى على أنه طريقة ملائمة لدراسة التركيبات العميقة للحواف الساحلية ووسط نتوءات المحيطات والأخاديد. ومن الأمثلة على ذلك دراسة الجاذبية مع نتائج الطريقة السيزمية والتى استخدمت لتجديد كيفية أن قشرة أنواع القارات والمحيطات اندمجت عند إنحدار الحافات. ويتضح التقارب العادى باستخدام محطات الإنكسارات السيزمية على جانبى الإنحدارات لتحديد سمك القشرة عند نقط قليلة. وعندئذ باستخدام نتائج الجاذبية لاستنتاج شكل الموهو (Moho) عبر الحافة، ويوضح شكل (3-60) قطاع قشرى لحافة بهاماس (Bahamas) بجوار جزيرة اليثرا (Eleuthra Island) من نتائج الجاذبية، وفيه ترفع (thins) الحافة القارية القشرة فجأة إلى قشرة محيطية عادية خلال مسافة 150 كم. ويلاحظ أيضا التغير الحاد فى الجاذبية (> 120 ميللجال) خلال مسافة 100 كم والميل الطوبغرافى أحد الإنحدارات الحادة والمكتشفة فى مساحات محيطية ،ويبرهن أنه أحد أهم أمثلة المضارب اللافتة للنظر لقطاع قارى تغير فجأة لقطاع محيطى، أوضح تلوانى Talwani 1970 العلاقة بين شاذة الجاذبية للتركيب القشرى عبر حافات منتصف المحيط حيث أن معظم الحافات تتميز بواسطة شاذات إرتفاعات صغيرة متسعة (موجبة الإتجاه) وبالعكس فإن شاذات بوجير تكون كبيرة وسالبة

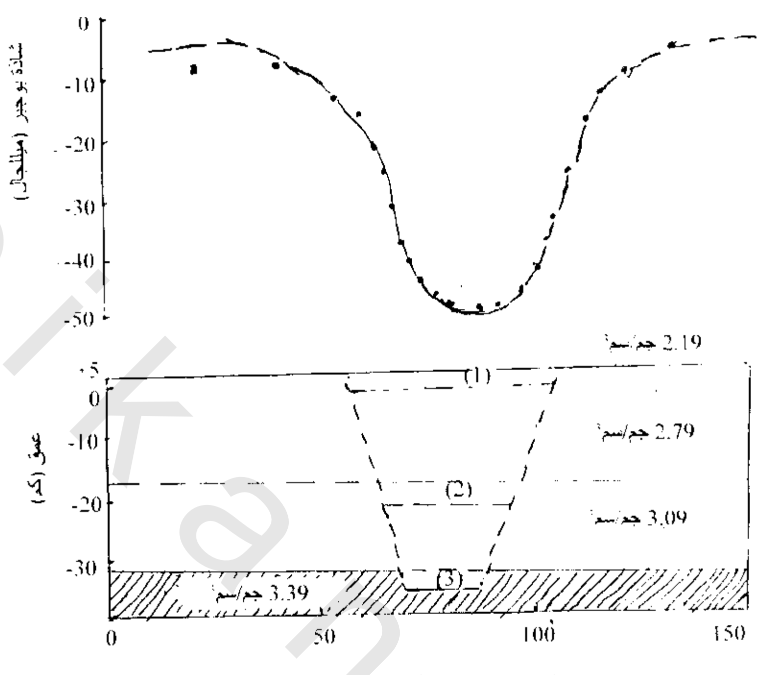
عبر قمم الحافات بسعات متشابهه مع الشاذات المقاسة عبر مناطق الجبال القارية. يوضح شكل (3-61) لشاذة عبر منتصف حافة الأطلنطى شمال 30° حيث يدل الصغر فى شاذة بوجير عبر قمة الحافة عن التعويض الأيزوستس لها (للحافة)، ولكن الشاذة الجاذبية فقط لاتستطيع تعين التعويض الميكانيكى. وعندما قام تلوانى وآخرين Talwani et al 1965 لعمل نموذج للتركيب تحت الأخدود (ridg) وجدو توافق لكلا من قراءات الجاذبية والسيزمية (المتاحة) مستخدمين العلاقة بين السرعة – الكثافة لناف ودراك Nafe and Darke 1963. وفى هذا النموذج يعتقد أن المواد المنخفضة الكثافة تحت النتواءا المرتفعة فى المحيطات لها علاقة بإرتفاع تيارات حمل الصهير فى الستار.

وأدى كثيرا من المسح الجاذبى البحرى (الذى تم قريبا نتائج جديدة. وقد تميزت النتائج التى توصل إليها تالوانى Talwani 1970 عبر بروفيلات لترنشات (أخدودات) مختلفة بأن الجاذبية القريبة من محاور هذه الترنشات تكون قيمها منخفضة تتراوح من 150 إلى 350 ميللجال، وتكون مصاحبة لقيم جاذبية موجبة عبر الجزء البركانية المجاورة لهذه الترنشات (أخاديد) وتتراوح قيم الجاذبية ما بين 200+ أو أكثر ميللجال. وعادة ما تكون النتائج السالبة للجاذبية عبر محاور الأخاديد راجعة إلى تواجد تجمعات رسوبية سميكة، والنتائج الموجبه ترجع إلى الكثافة العالية للوح القشرة الأرضية الممتدة عدة كيلومترات فى داخل الستار كما يوضح شكل (3-62).

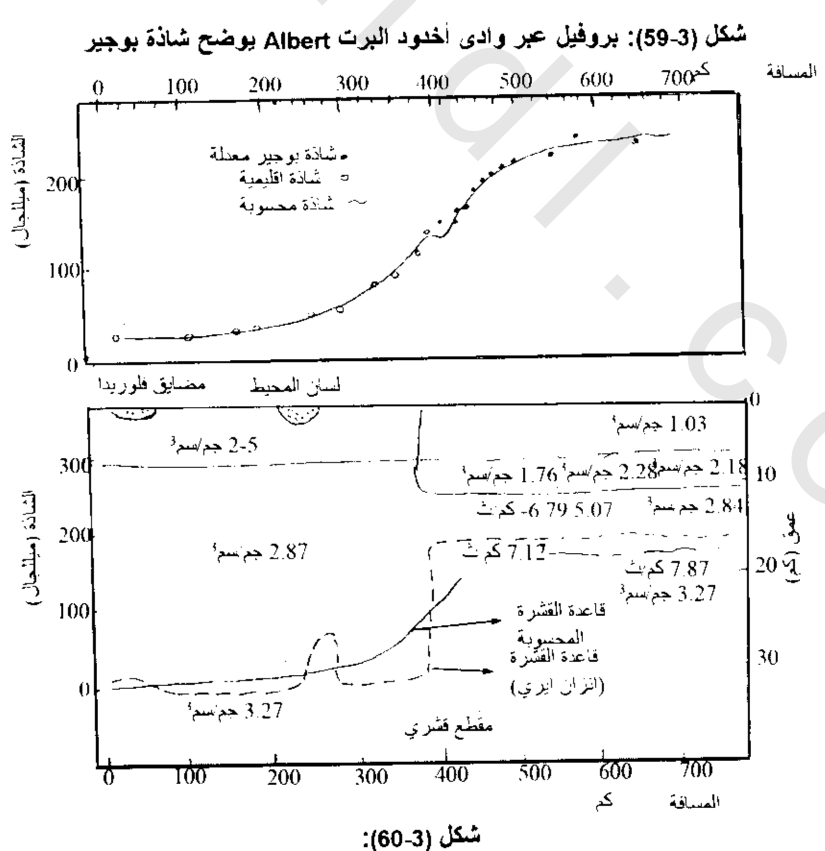


شكل (3-58): خط بروفيل الجاذبية (أ) والتابع له (ب) خط بروفيل السيزمى عبر `B-B فى شكل (3-54, 3-55)

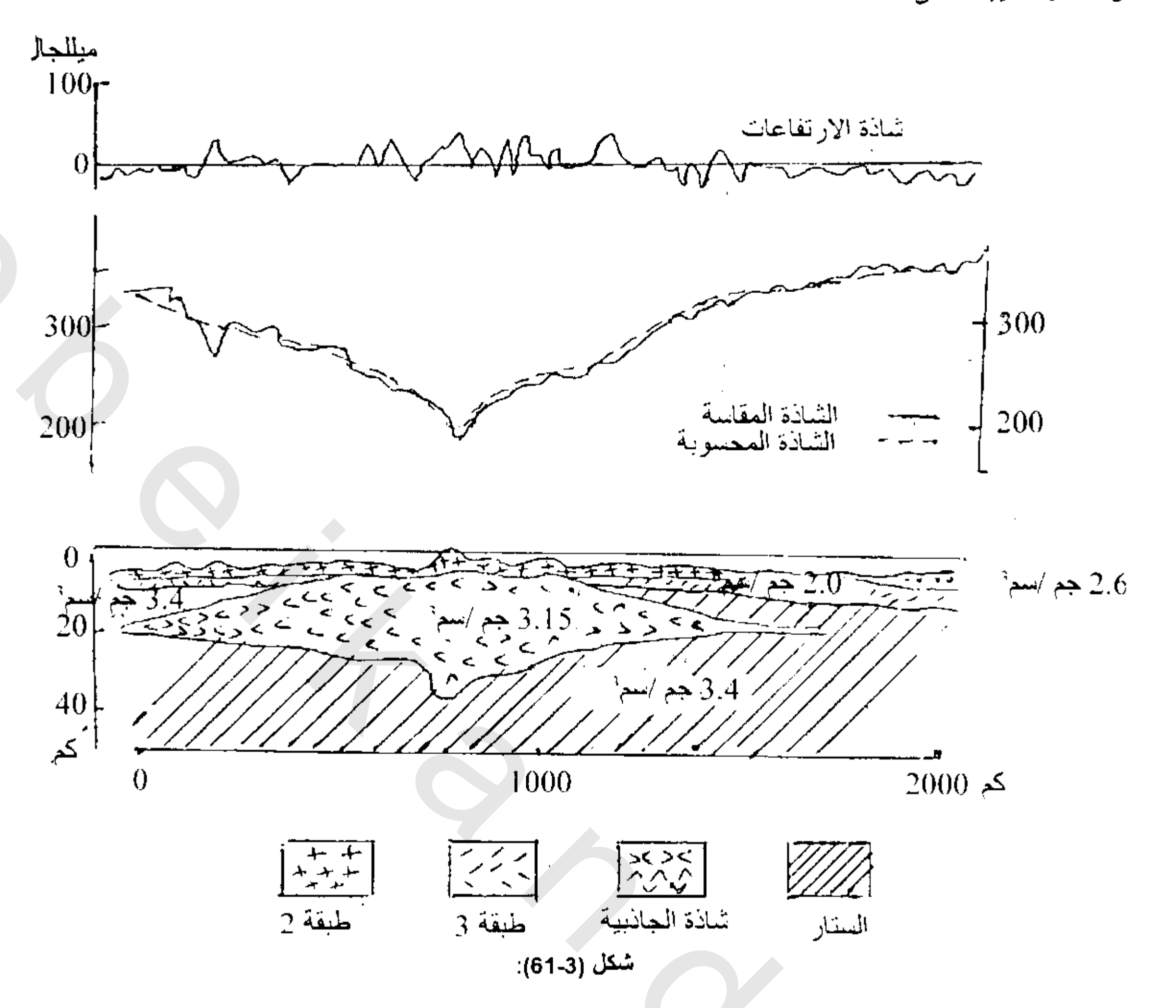
وقد لوحظ نماذج لشاذات شبيهه بالمثال السابق مصاحبة لتراكيب أخاديد اليتيان، يابان، تنجا Aleutian, Jaban, Tonag فى المحيط الهادى. وقد وضع النموذج أولا وجهة نظر الدلائل السيزمولوجية شكل (3-63) حيث أن الأماكن تكونت عند أماكن يهبط عندها اللوح ذا الكثافة العالية من القشرة الأرضية عدة كيلومترات داخل الستار، ويكون التأثير الأولى للوح إنتاج شاذات جاذبية موجبة عريضة.



شكل (3-59): بروفيل عبر وادى أخدود البرت Albert يوضح شاذة بوجير



شكل (3-60):

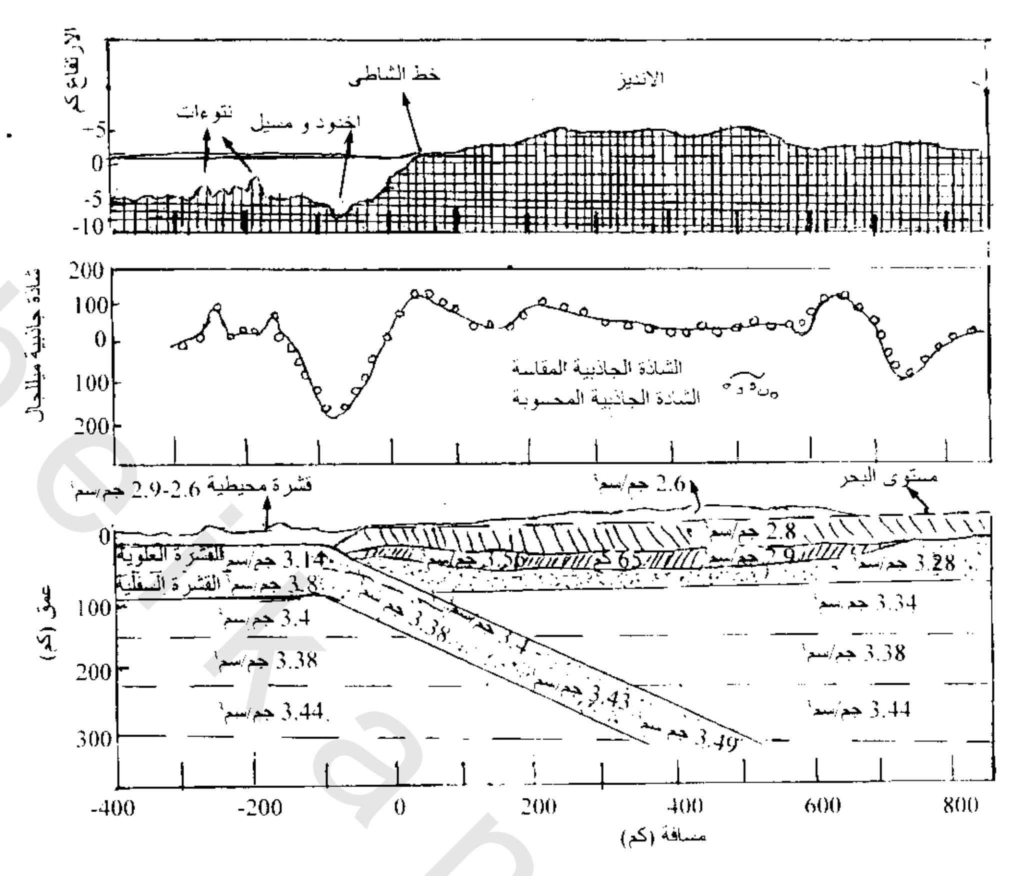


شكل (3-61):

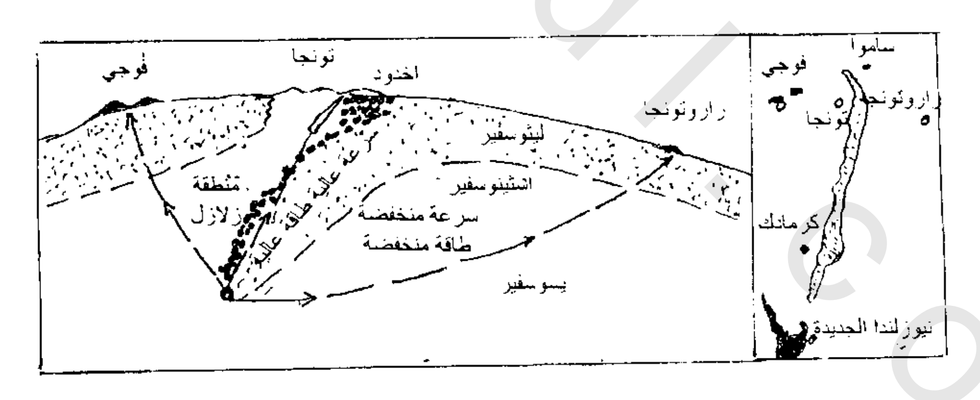
4.12.3 الجيولوجيا الإقليمية والتكتونية Regional geology and Tectonics:

عادة ما تعطى القياسات الجاذبية الإقليمية معلومات عن عناصر التركيبات الكبيرة وتعطى خلفية ممتازة لدراسة مناطق التركيبات الجيولوجية المتوسطة الواسعة. مثال لذلك شكل (3-64) والموضح لخريطة جاذبية مبسطة لمنطقة بحر الشمال. ومن هذه الخريطة يتضح وجود مناطق لجاذبية منخفضة ممثلة لثلاث أحواض رسوبية كما تشير إلى وجود ثلاث تركيبات مرتفعة فاصلة لهذه الأحواض الرسوبية كما أنها تدل على وجود صخور ما قبل الكمبرى الضحلة وتتراوح قيم الجاذبية لمناطق أحواض بحر الشمال وحوض الشمال الغربى الألمانى إلى حوالى 25- ميللجال وعلى المقابل تصل قيم الجاذبية الموجبة للمرتفعات ما بين 20-30 ميللجال وأما قيم الجاذبية والتى تتراوح ما بين 45-55 ميللجال فهذه مصاحبة لكتل رسوبية يتراوح سمكها ما بين 5500-4500 متر*

* حسبت الأسماك من تصحيح بوجير $\Delta g = 2\pi G t \rho$ للوح لانهائى السمك t ويفرض أن فروق الكثافة هى 0.25 جم/سم^3 وذلك ما بين أحواض الرسوبيات وصخور القاعدة المنضغطة.



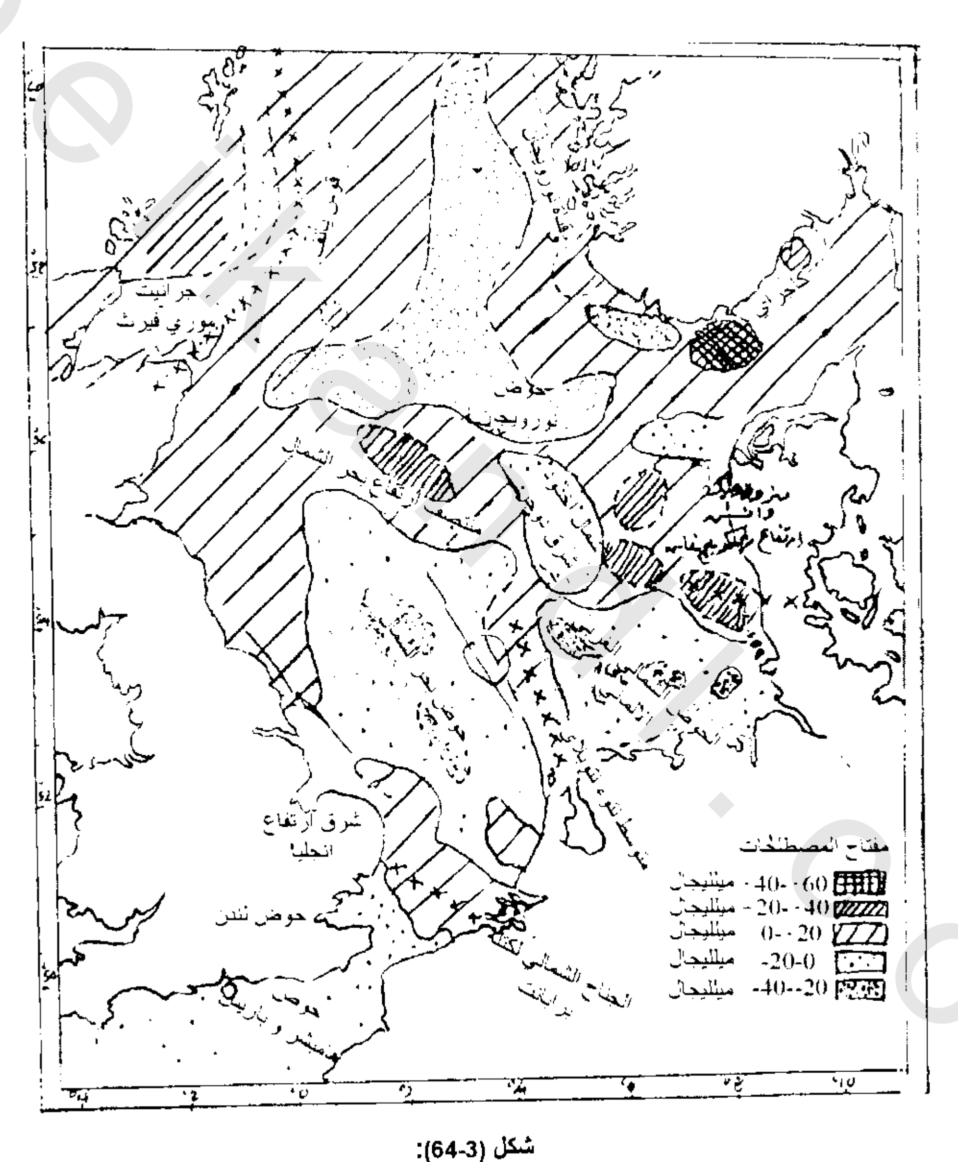
شكل (3-62): بروفيل لنتائج قياسات وحسابات جاذبية الإرتفاعات عبر أخدود شيل Chile وجبال الأنديز.وخددت الحدود داخل القشرة الأرضية على أساس النتائج السيزمية. واستدل على كثافات اللوح المتجه لأسفل بتقديرات الحرارة والضغط تبعا للأعماق.



شكل (3-63):

والمثال الثانى لجزء من منطقة تركيب تشرشل Churchill فى الدرع الكندى، شكل (3-65) يوضح خريطة جيولوجية بسيطة مع شاذة جاذبية. وتمثل الكتلة الكبيرة للحجر الرملى البروتوزوى والمعروف بتكوين أثاباسكا (Athabasca) ذات كثافة 2.4 جم/سم^3 وسمك أقل من 1000 متر ظاهرة كبيرة. والظاهرة اللافتة للنظر بالخريطة هو الحزام المتوسط لشدة شاذية غير عادية بإتجاه الشمال الغربى والجنوب الشرقى بمساحات حدود جاذبية منخفضة ويكون عرض الشاذات الجاذبية العالية والمنخفضة ما بين 70-40 كم وتدل على التغير فى

كثافات صخور القاعدة. توضح خرطية الجاذبية بالشكل (3-65) تغير فى خصائص الصخور المتبلورة بطول موجى كبير ولايدل هذا التغير على وجود مقياس صغير للخريطة الجيولوجية. ويكون إرتفاع ستونى رابدز (Stony Rapids) قيمة الجاذبية قريب جدا لعلاقة الظهور الكبير الجزئى لجسم النوريت ذات الكثافة العالية، ولهذا تعرضت المنطقة لنشاط اكتشافى لخامات معادن مثل النحاس والنيكل والكوبلت. ويدل النموذج الإقليمى لظهور جزء من النورايت وإمتداده جنوب غرب تحت ستونى رايدز. والشاذة الأخرى المشابهة فى القيمة هى بحيرة لسجر المرتفعة (the Lisger lakes high) والموجودة فى الجنوب الغربى ربما تدل على نفس التداخل من النوريت، وربما حدد بعض التمعدن بها.



شكل (3-64):

ويختفى تأثير الجاذبية بسبب التغير فى سمك الحجر الرملى تقريبا بواسطة الشاذات الكبيرة الناتجة من خواص صخور القاعدة فمثلا سمك 500 متر من الحجر الرملى فوق صخور القاعدة $\rho = 2.75$ جم/سم^3 ينتج شاذة دجاذبية 7 ميللجال والتى تكون صغيرة جدا بالمقارنة للمدى الحقيقى 60 ميللجال لصخور القاعدة.

الحسابات السابقة تتبع صيغة الجاذبية للوح لانهائى ($\Delta g = 2\pi G t \Delta\rho$). وفى الحقيقة فإن هذه الاقتراحات تبين أن شاذات الجاذبية عبر الحجر الرملى لها علاقة بصخور القاعدة المتحولة فالجاذبية العالية ترتبط بصخور النوريت والبركانيات المتحولة، بينما الجاذبية المنخفضة تبدو علاقتها بالجرانيت القلوى. وهذا المثال يوضح وجهة نظر أنه بالإضافة لنتائج الجاذبية يكون من المستطاع استقراء مساحات جيولوجية لصخور قاعية غير معروفة من المساحات المعلومة.

13.3 الكشف المعدنى Mineral Exploration:

يستخدم المسح الجاذبى لوظيفتين فى التنقيب المعدنى.

1- البحث والكشف عن جسم الخام.

2- تعيين جسم الخام لتحديد وزن الخام بالطن.

اكتشاف رسوبيان فارو للرصاص والزنك فى يوكون بشمال كندا

Discovery of Faro Lead-Zinc Deposit, Yukon:

أدى التنقيب الجيوفيزيائى المجمع ما بين المسح الجوى والأرضى والتى منها المسح الجاذبى إلى إكتشاف رواسب فارو Faro للرصاص والزنك فى يوكون Yukon بشمال كندا. وقد وجد أن الجاذبية من أحسن الطرق الجيوفيزيائية المستخدمة لتعيين أجسام الخامات شكل (3-66) وقد إستخدمت أيضا لتحديد وزن الخام بالطن والتى قاربت قيمتها من القيمة المستنتجة من الحفر ويلاحظ أنه فى بعض المناطق (سورتون تورز، وارتمور (Sourton Tores, Dartmor) بجنوب غرب إنجلترا لم تنجح طريقة الجاذبية فى اكتشاف الخامات للأسباب الآتية:

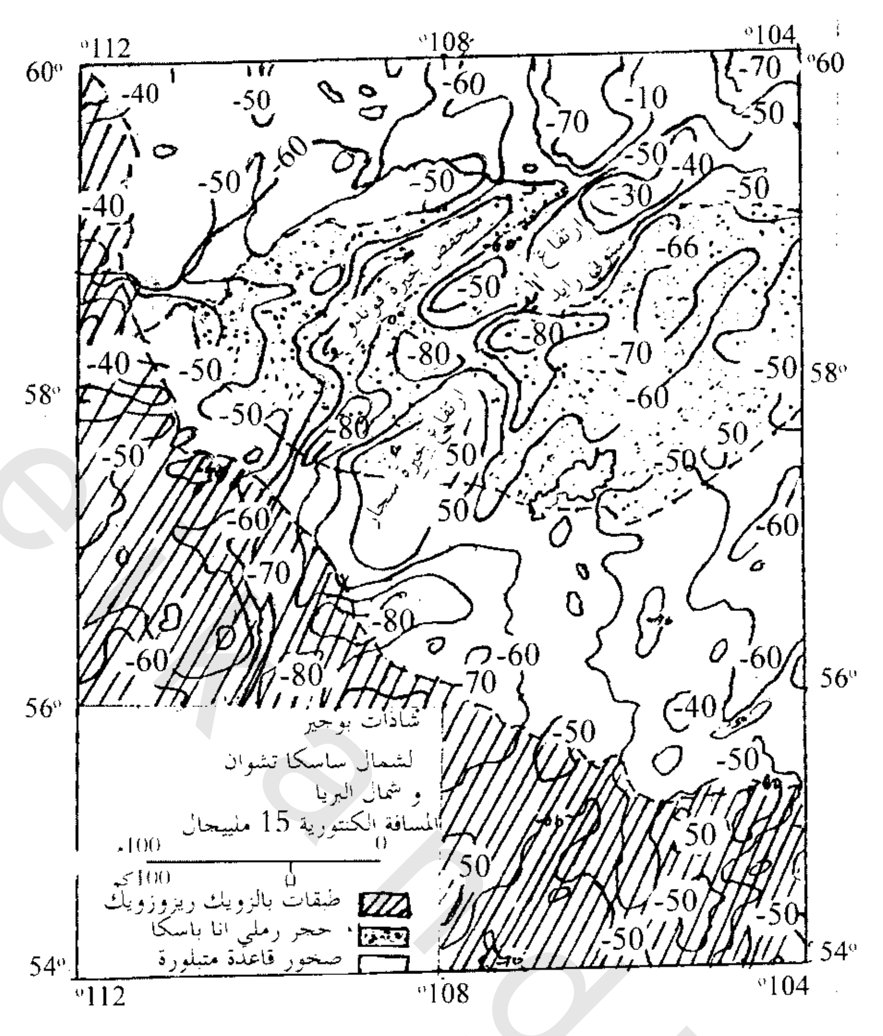
1- أن مقياس التمعدن مركزة فى عروق ذات إتساع عدة أمتار قليلة شكل (3-67).

2- حساسية جهاز الجاذبية غير كاف لتوضيح فروق الكثافات الصغيرة بين تمعدن الكبريت والصخور المحيطة.

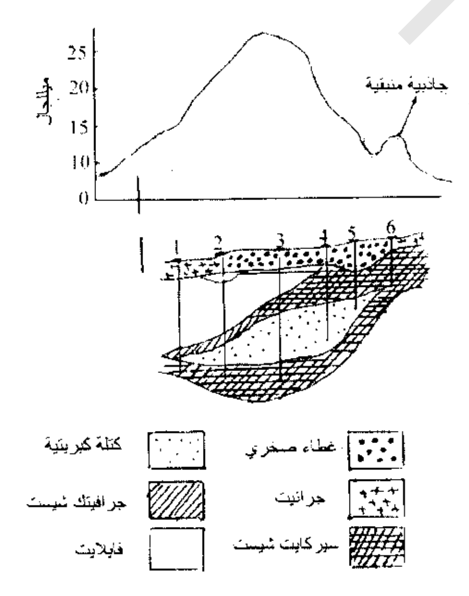
14.3 تحديد سمك الثلاجات Glacier Thickness Determination:

للحصول على معلومات عن عمق وحجم الثلج فى مناطق مثل انتركتكا وجرين لاند (Antarctira and Greenland)، تم عمل مسح إقليمى جاذبى لها ثم عمل قياسات فوق الواح ووديان ثلجية، ويمكن بسهولة قياس الشاذات الجاذبية فوق هذه المناطق وذلك للفرق الكبير بين كثافة الثلج (0.92 جم/سم^3) ومتوسط كثافة الصخور المحيطة بها (2.67 جم/سم^3)، وبذلك يمكن قياس قاع بروفيل كتلة الثلج (تضاريس الثلاجات السفلية) والتى تأخذ شكل تضاريس الصخور أسفلها.

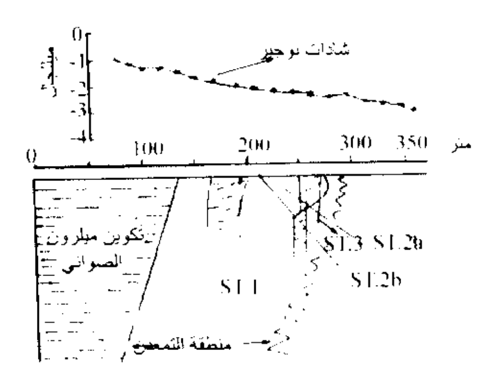
ومثال لذلك ثلاجات سالمون (Salmon) فى برتس كولومبيا (Britsh Columbia) شكل (3-68) والتى فيها تم المسح الجاذبى للتأكد من قاعدة بروفيل الثلاجات قبل حفر طريق نفق تحتها.



شكل (3-65):



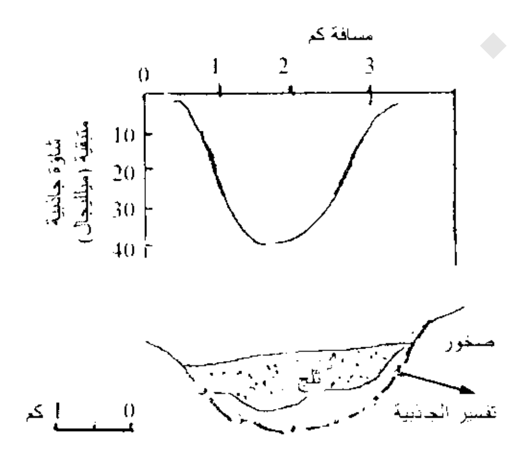
شكل (3-66): قطاع عرضى جيولوجى وبروفيل جاذبى لرسوبيان فارو Faro فى يوكون Yukon بشمال كندا



شكل (3-67): بروفيلات شاذات الجاذبية عبر منطقة تمعدن فى حجر صوان منطقة (سورتن تورز ، وأرتمور Sourton Tores & Dartmor) بجنوب غرب إنجلترا توضح عدم تفرق الشاذات

من شكل (3-68) يلاحظ أن الشاذة المتبقية عبر الثلاجة تصل إلى قيمة صغرى مقدارها 40- ميللجال بدقة تصل إلى ± 2 ميللجال بسبب التقدير الغير مضبوط لتصحيح التضاريس والكثافة المقدرة للصخور المحلية 2.6 جم/سم^3 والعمق الناتج من هذه الكثافة عبر بروفيل الثلاجة يعطى 10% بالمقارنة من القيمة المقدرة من الحفر وبإعتبار التقريب المأخوذ فى الحساب تكون النتيجة ملائمة. وبالإضافة فإنه وجد أن متوسط الكثافة المجاورة للصخور منخفضة نوعا ما (2.55 جم/سم^3). وهذا يدل على وجود سمك معين لكثافات رسوبيات جليدية منخفضة بين أسفل الثلاجات والصخور أسفلها. وربما بإتخاذ نماذج يفسره على نتائج مصححة تماما للتضاريس فإن الفرق يقل. وبإستخدام طرق جيوفيزيائية أخرى وبالمقارنة بين نتائجهم ونتائج الجاذبية* إتضح أن سمك الثلج يتراوح 10% من السمك الحقيقى. أما اذا إستخدمت طريقة الجاذبية عبر أسماك كبيرة للثلج فإنها تعطى نتائج أقل من الحقيقة للأسباب الآتية:

1- الأخطاء الكبيرة تعود إلى التحديد غير الدقيق لسطح الارتفاعات. وعموما هذه الارتفاعات يجب أن تحدد ما بين 5-10 متر.



شكل (3-68): بروفيل شاذة متبقية عبر ثلاجة سالمون (Salmon) ببرنش كولمبيا مع نتيجة بروفيل سمك الثلج (نتيجة الحفر)

* وحدة الجاذبية فى هذه الحالة = 1/10 ميللجال.

2- فى التصحيحات المضبوطة للتضاريس السفلية للثلج تتغير بواسطة مئات الأمتار (فى المناطق التى لم يستخدم تحكم صدى موجات الراديو). وأى خطأ يحدد سمك الثلج لكل عمق 100 متر للقاعدة الصخرية فإنها تنتج خطأ مقداره ± 74 وحدة جاذبية**.

3- وكما فى جميع المسح الجاذبى فإن تقدير تصحيح بوجير يكون ايضا ذات أهمية إنتقادية. وتعوق الألواح الثلجية جميع الصخور المحلية، ولكن محليات قليلة، وجيولوجية الثلج التحتية، والكثافات المصاحبة لها ربما تكون مهمة جدا.

ومن تطبيقات الجيولوجيا الثلجية الأخرى لطرق الجاذبية إستخدام مقياس الجاذبية (الجرافيميتر) لقياس ذبذبة المد المحيطى بواسطة الحركات الرأسية لألواح الثلج العائمة فى الدائرة القطبية الجنوبية.

15.3 التطبيقات الهندسية Engineering Application:

عادة ما تكون المواقع الهندسية المراد فحصها جيولوجيا مساحتها صغيرة لاتتجاوز مئات الأمتار المربعة وأعماقها ضحلة (أقل من 50 متر). وتبعا لذلك يكون التحليل للقياسات الجاذبية المطلوبة من مرتبة ميكروجال. وعامة ما تستخدم الجاذبية لتحديد إمتداد الإضطرارات الأرضية حيث تفشل الطرق الجيوفيزيقية الأخرى بسبب الكهربية العالية أو الشوشرة الصوتية أو بسبب وجود عدد كبير من المنفعة العامة تحت الأرض. وبالإضافة لذلك تستخدم الجاذبية لتقدير حجم الشواذ الأرضية مثل حجم الكهوف تحت الأرض أو العدسات الثلجية فى مناطق دائمة التجمد.

ومن ضمن مشاكل الجيولوجيا الهندسية التى شاركت طرق الجاذبية وبعض الطرق الجيوفيزيقية الأخرى هى:

1- تحديد مواقع المحاجر والمناجم القديمة وكذلك التجويفات والتى تعتبر مخاطر للناس والأملاك وخاصة عندما لاتوجد تسجيلات لهذه المواقع.

2- دراسة المساحات المراد إقامة منشآت سكنية كبيرة أو مشاريع كبيرة عليها لمعرفة الظواهر الجيولوجية التى ستقام عليها.

1.15.3 إكتشاف المحاجر المملوءة مؤخرا Detection of Back-Filled Quarres:

إذا وجد فرق فى الكثافة بين المادة المالئة للمحاجر القديمة والصخور المحيطة بها فمن الممكن بنجاح إستخدام مسح جاذبى بمقياس صغير (ملليجال أو ميكروجال) لتحديد تلك المحاجر والمثال التالى يبين ذلك. إقترح إنشاء خط حديدى بإنجلترا عبر منطقة تحتوى على عدة محاجر قديمة للحجر الرملى (من أواخر القرن التاسع عشر) وكانت مملوءة بالمواد الرخوة. وكتصميم القطاع للخط الحديدى يشمل قطع وتغطية نفق ولذلك كان من المهم جدا تحديد أوجه المحاجر بدقة جيدة.

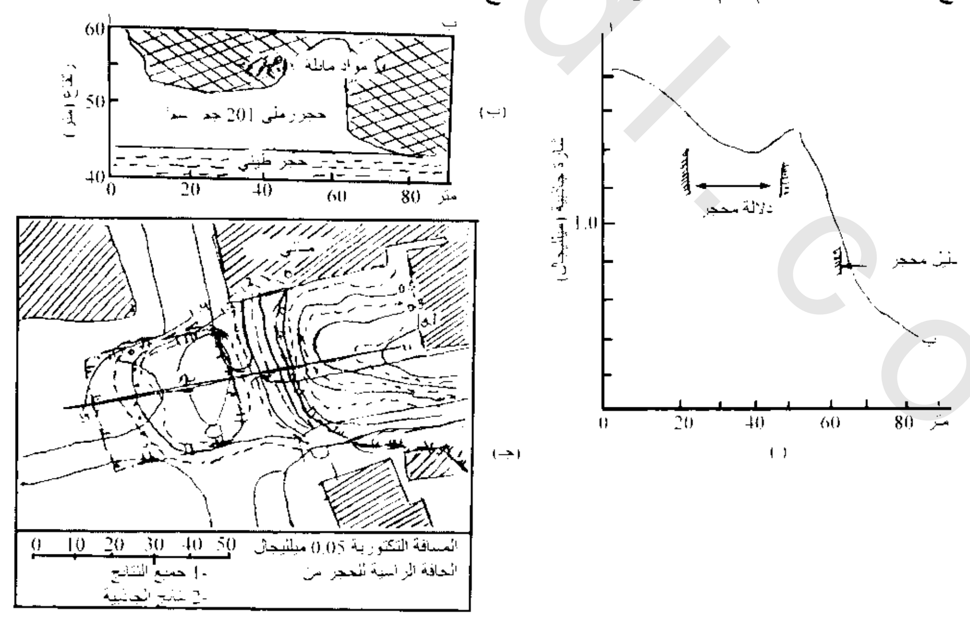
** وحدة الجاذبية فى هذه الحالة = 1/10 ميللجال.

كان للفرق الكبير للكثافة بين المواد المالئة الرخوة للحجر (1.65 جم/سم3) والحجر الرملى المحلى (2.1 جم/سم3) وأيضا كان للتقاطع الصليبى للموقع بواسطة عدد هائل من الأنابيب والكابلات تحت الأرض والمواد السطحية الحاوية على كميات كبيرة من الخردة المعدنية، لذلك كان من الناحية الغير عملية إستخدام الطريقة الكهربية أو الكهرومغناطيسية أو المغناطيسية وأيضا إستخدام الطريقة السيزمية غير مجدى لوجود مستويات عالية من الشوشرة الصوتية الناتجة من الحجم الكبير لحركة المرور أثناء العمل اليومى والنقص الفراغى بسبب إمتداد التغطية البنائية. وعليه اختيرت طريقة الجاذبية وأجريت بين ساعات منتصف الليل إلى الساعة ٦ صباحا وذلك لتجنب الذبذبات الناتجة من حركة المرور ومنشأة الصناعات الثقيلة. وأنتج الفرق فى الكثافة بين المواد المالئة والحجر الرملى المحلى (0.5 جم/سم3) شاذة تثاقلية متبقية من رتبة (0.7 ميللجال). وقد وضحت شاذات نتائج الجاذبية المتبقية مع نتائج بئر بالمنطقة ودراسة الآثار بها مكان لوجهى المحجر كما فى شكل (3-69).

2.15.3 كشف الكتل الثلجية فى تضاريس تربة دائمة التجمد

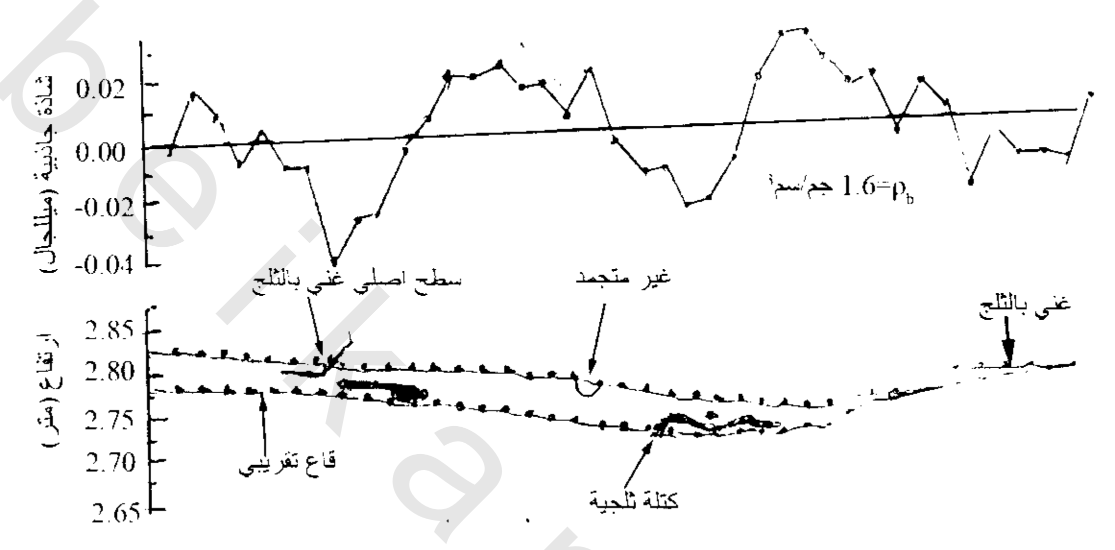
Detection of Massive Ice In Perma Frost Terrain:

عادة ما تشكل الكتل الثلجية المذابة المصاحبة للتربة المتجمدة مشاكل هندسية وبيئية حادة ولذلك فإنه من المهم جدا تعيين مثل هذه الظواهر الأرضية. وضح كوساكى وآخرين Kawasaki et al. 1983 مثال لإستخدام المسح الجاذبى لكشف وجود حجم الكتل الثلجية فى مساحة من تربة متجمدة عند منطقة كريك Creek الهندسية بالقرب من فيربانكس Fairbanks بألاسكا Alaska على طول مسار قاطع لطريق مقترح. فمن المعلوم أن الأجسام الكبيرة من الكتل الثلجية مثل الموجودة خلال الهضبات الثلجية الكبيرة تعطى دلالة للشاذات الجاذبية (ماكى Machay 1967، ربنتون وولكوت Ranptan and Walatt 1974 حيث أن التربة المتجمدة بدون تواصل ثلجى متقاطع لها كثافة 1.6 جم/سم3 بالمقارنة بكثافة الثلج



شكل (3-69): أ) بروفيل متبقيات جاذبية عبر محجر حجر رملى مملوء، ب) القطاع الجيولوجى، ج) رسم لحظة النفق

الـصلب (0.88-0.9 جـم/سـم^3) وبالنـسبة للتربـة الألـسكن Alaskan النموذجيـة تكـون الكثافـة (1.35-1.7 جم/سم^3) وهذا يعطـى كشف الـشاذات المتبقيـة إذا قيست بجرافيمتر ذات حـساسية كافيـة. وقد وضـح كواسـاكى Kawasaki وزمـلاءه أيـضا أن الكتـل الثلجية ممكـن اكتـشافها بواسـطة المقارنـة للجاذبيـة الـصغيرة علـى طـول البروفيل الموضـح فـى شكل (3-70) وأيضا كانـت القياسـات حـساسة للتغير فـى الكثافـة خـلال صـخر الأسـاس (الشيست).



شكل (3-70): بروفيل جاذبى عبر كتلة ثلجية أرضية فى طريق مقطوع عند كريك الهندسى بالقرب من بألاسكا

وتعتبر طريقة الجاذبية أداة ممتازة لتفسير واضح لإنشاء مواقع لتوقعها وجـود الكتـل الثلجيـة ولكنهـا طريقـة بطيئة جدا لإستخدامها كأداة إستطلاعية عبر البروفيلات الطويلة.

3.15.3 الكشف عن الكهوف التحت أرضية والآثار

Detection of Undergroudn Cavities and Arceology:

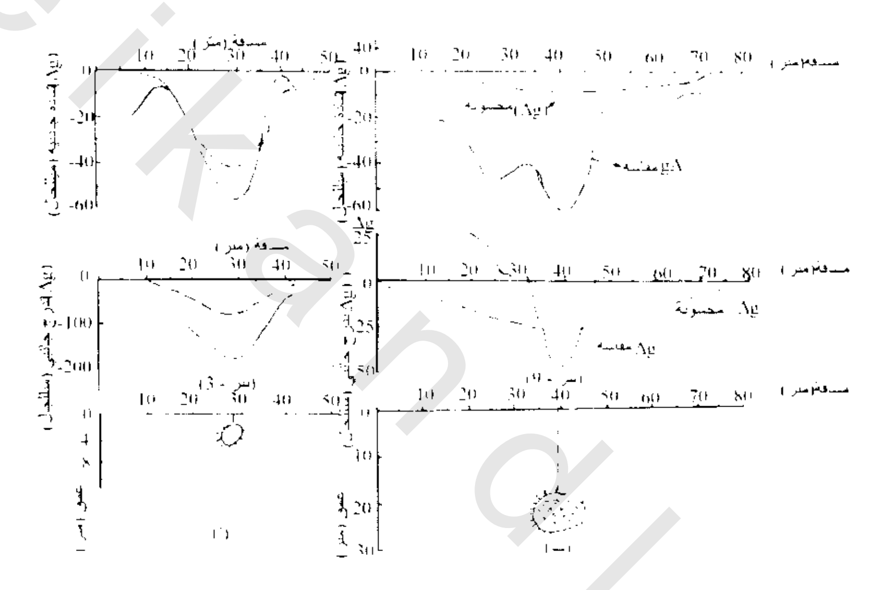
من الممكن أن تكون الفجوات الدقيقة القريبة من السطوح خطيرة جدا خلال أعمال الحفر فـى منـاطق غيـر معلومة أو إذا كانت واضحة بواسطة هبوط الأرض التى تعلوها. فى كثير من المسوح الهندسية والهيدروجيولوجية تم اكتشاف الكهوف المتوقعة بإستخدام طريقة الجاذبيـة (ميكـوجرافتى) (كـولى Kolley 1963) وزادت أهميـة هذه الطريقة فى البحوث الأثرية كما تم فى الكشف عن السراديب والممرات فى الأهرامات المصرية.

1.3.15.3 الكهوف الطبيعية المخفية Hidden Natural Cavities:

بواسطة مثال تطبيقى لمسح بـالميكوجراف قام فجكلفسز Fajklenaz 1986 باكتشاف كهف تحت أرضـى. وكذلك عبر عدة سنوات فسر تـأثير الجاذبية لكلا من الكهوف الطبيعيـة والصناعية وساعد فـى تحـسين طريقـة للكشف، موضوعة على أساس التدرج الرأسى لمجال الجاذبية. وقد وجد أن سـعة الـشاذة الجاذبيـة عامـة أكبـر من المتوقعة ومازالت أسباب هذا غير واضـحة. وتمـت عمليـة المسح الميكروجرافيتـى لإنـدروكلاو Inowroclaw ببولندا شكل (3-71) حيث توجد كهوف أحجار جيريـة ذات مجار جوفية واسعة على أعمـاق حـوالى 40 م فـى

الجبس والأنهديريت والحجر الجيرى والدولوميت وكان من نتائج نمو هذه الكهوف إتجاه سطح الأرض هو تلف وهدم حوالى 40 مبنى بالمدينة وفرق الكثافة الطفيف بين الكهوف والمواد المحيطة بها (1.8 جم/سم^3، 1.0 جم/سم^3) شكل (3-71) يرجع لوجود صخور البرشيا خلال الكهوف. وقد فسر فاجكلفسز Faklewiciz أن الكهف فى شكل (3-71ب) لم يكتشف بفرض أن مجاله الجاذبى يرجع كلية إلى كهف كروى كما فى الشكل.

وبرغم أن الشاذة الجاذبية النظرية من التدرج الجاذبى الرأسى مازالت غير كافية للدلالة على وجود كهف فإن شاذة الجاذبية الملاحظة لاتزال علامة كلية كافية. وبنفس الإقتراح يمكن إستخدام التدرجح الجاذبى الأفقى $\Delta g/\Delta y$ ، dg/dx ، وفى هذه الحالة تصل نقطة الجاذبية لأقل أو أعلى قيمة. وعندما تصل نقطة التدرج للصفر فإن هذا يدل على أن هذه النقطة تمر عبر مركز الجسم المسبب للشاذة (بوتلر Butler 1984) ،ومثال ذلك شكل (3-72) والمعطى بواسطة جاستن وجرام Gasten and Gram 1984 لحالة اختبار حيث نتائج الجاذبية فى منجم



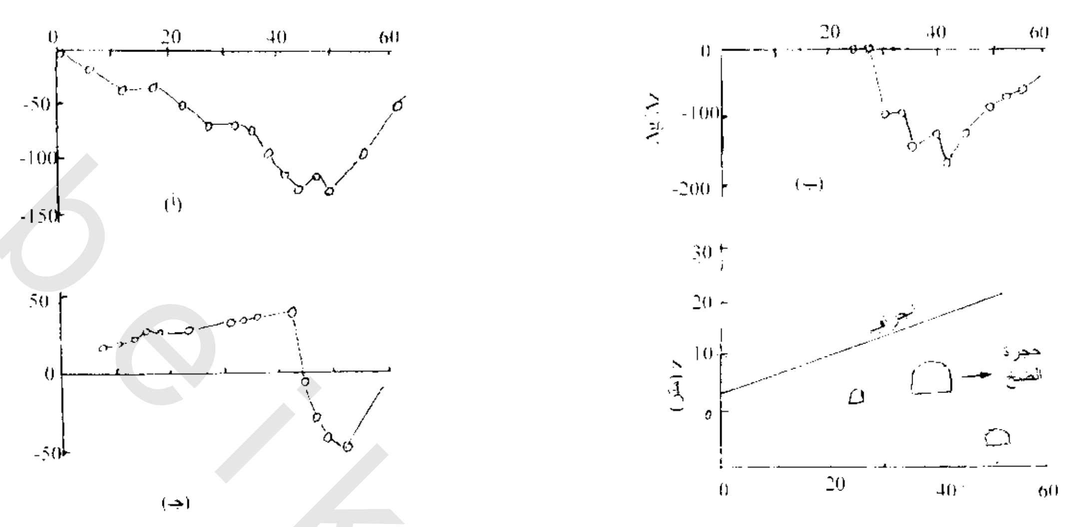
شكل (3-71): Δg, Δg_z شاذات جاذبية (ميكروجال)، وشاذات تدريج جاذبى فى شكل أ الكهف مملوء هواء (بئر -3) وفى شكل ب الكهف مملوء بفتات صخرى (بئر 4)، (فاجكلفز Fagklevicz 1986)

فحم عميق على طول ميل جرف يمر بزاوية قائمة عبر فجوة الضخ. وأكثر من هذا، يمكن إستخدام الميكروجرافتى لتحديد معدل وامتداد نمو القوى المتراخية حول أعماق الحفر شكل (3-73) فاجكلسفز Fajklevicz 1986 & جليسكوتال Gluskoetal 1981 حيث أن تشقق الصخور ينشأ من تراخيها ميكانيكيا لذلك تقل كثافتها الحجمية وإذا استمرت ونمت التشققات فإن التغير فى الكثافة كمعامل زمن ممكن كشفه باستخدام ميكروجرافيمتر حساس وعندئذ يعمل نموذج لذلك.

2.3.15.3 البحث عن الآثار Archeological Investigations:

أعطى بلزمكوفسكى Blizkovsky مثال كيف أن المسح الميكوجرافيتى بعناية أشار لوجود سراديب متوقعة فى كنسية St. Venceslas بتوفاكوف بتشلوسيوفاكيا والتى ثبتت أخيرا بأعمال الحفر، تتكون النتائج من 262 قيمة مقاسة بدقة بلغت 11 ميكروجال على شبكة 1 م^2 أو 4 م^2 مصححة بالنسبة لجاذبية حوائط المبنى

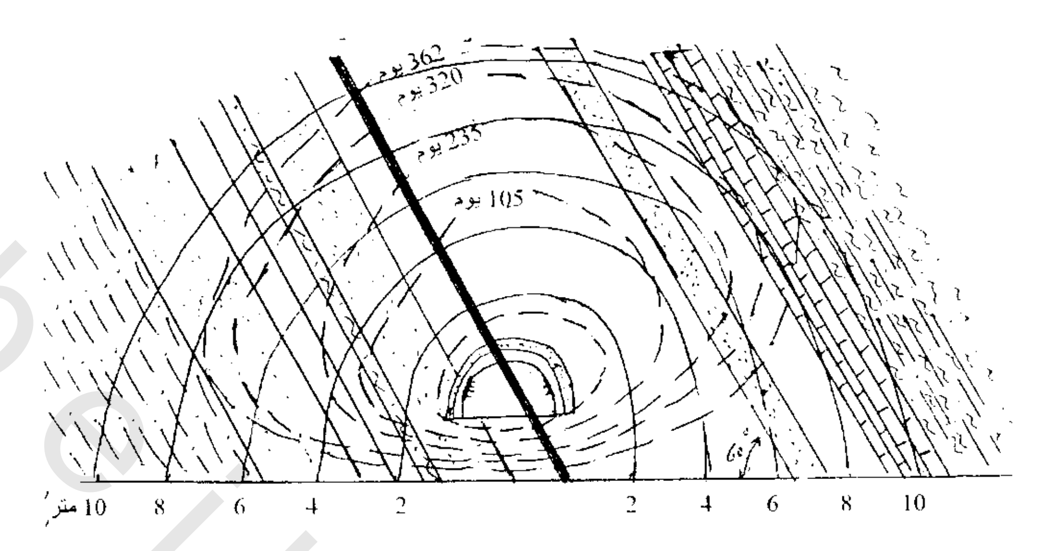
شكل (3-74) وحدد موقع جاذبيتين مهمتين منخفضتين بسعة نسبية قدرها -60 ميكروجال والتى دلت على قصور كتلى مصاحب للسراديب الغير معروفة سابقا.



شكل (3-72): مسح ميكروجاذبى فى منجم عميق للفحم مقاسة على طول جرف قاطع حجرة الضخ Pump room أ) يوضح بروفيل لجاذبية ملاحظة متبقية، ب) جاذبية رأسية متدرجة ملاحظة ومحسوبة، ج) جاذبية أفقية متدرجة، د) أماكن تحت أرضية لتجاويف معروفة من سطح المنجم (جاستن جرام Gasten and Gram 1984)

16.3 التطبيق الهيدروجيولوجى Hydrogeological Application:

لاتستخدم طرق الجاذبية بكثرة كالطرق الكهربية فى البحث والتنقيب عن المياه الجوفية ولكن مازالت تمثل أساس هام فى ذلك (كارميشيل وهينى Carmichael and Henny 1977). ويكون استخدمها العادى بكثرة للكشف عن الصخور ذات الكثافة المنخفضة والتى تعطى فكرة عن الطبقات الملائمة الحاملة للماء مثل الرواسب النهرية فى صخور الوديان المدفونة (لوناكس وكاريسون Lonnax and Carison 1967 & فانأوفرميرن Van Overmeern 1980. وقد عرفت وديان مدفونة والتى كانت مقطوعة مع صخور أساسية أخرى أو مع حدث جليدى مصاحبة لنهر ساسكشتشوان الجنوبى South Saskatcheman بواسطة تأثيراتها الجاذبية (هال وهاجنال Hall and Hajnal 1962). وتوضح الشاذة الجاذبية عبر مجرى وادى النهر أقل إتساع ملحوظ عن الموجود للوادى اليوم وأكثر من هذا يمكن إستخدام شاذات جاذبية الجرافيمتر كمراقب لتأثير تغير مستوى المياه الجوفية فمثلا يكون التغير فى الجاذبية بمقدار 170 ميللجال ناتج عن صخور ذات مسامية 33% ومعامل احتباس 20% وتغير فى مستوى الماء الجوفى مقداره 30 متر. ولهذا يمكن إستخدام الجرافيمتر لمراقبة هذا التغير الصغير فى قيمة الجاذبية عند المكان المراد دراسته والتغير الوحيد فى الجاذبية بعد تصحيح إنحراف الجهاز والمد الأرضى يكون لكمية الماء المتخلخلة فى الصخور. وتبعا لذلك فإن أى طبقة حاملة للماء معروفة الشكل يكون تغير القياس فى الجاذبية مع صلة ملاحظات محدودة لمستوى الماء الجوفى عند قليل من الآبار يمكن ترجمتها إلى تفجير معامل إنتاج الطبقات الحاملة للماء. وبالمثل يمكن إعادة قياسات الجاذبية لتقدير حجم درجة الإنخفاض (الهبوط)، ودرجة تشبع منطقة المجرى (الس وهنت Allis and Hunt 1986). وأمكن بنفس الطريقة تقدير حجم التغذية لحقل (وراكى Warakei الحرارى بشمال نيوزيلاندا Newzealand (هنت Hunt 1977).

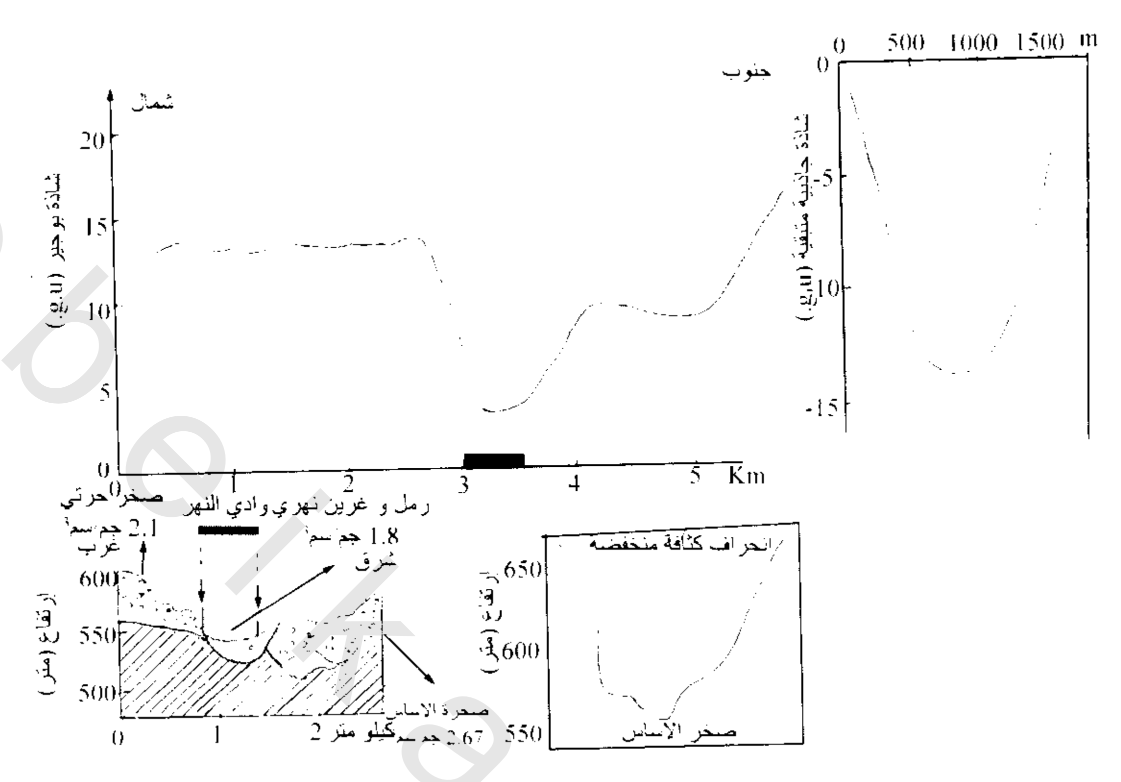


شكل (3-73): علاقة بين الوقت المعتمد على قوة تكسنوكوف كلليرى فى حوض دون الإرتخاء حول قاعة كبيرة تحت الأرض على عمق 540 متر والمستنتجة من مسح ميككروجرافيتى فى Tckesnokov cColliery in the Don Basin عبر فترة بلغت 363 يوم (جليسكوتال 1981 Gluskoetal ، فاجكلسفز 1986 Fajklavicz



شكل (3-74): خريطة ميكروجرافتى على كنيسة Stivencelsas بترفاكوف بتشيكوسلوفاكيا توضح علامات الشاذات

شكل (3-75) وهذا يدل على وجود مواد أقل كثافة حيث وجد تتابع صخرى (غرين وطمى ورمل) بواسطة الحفر.

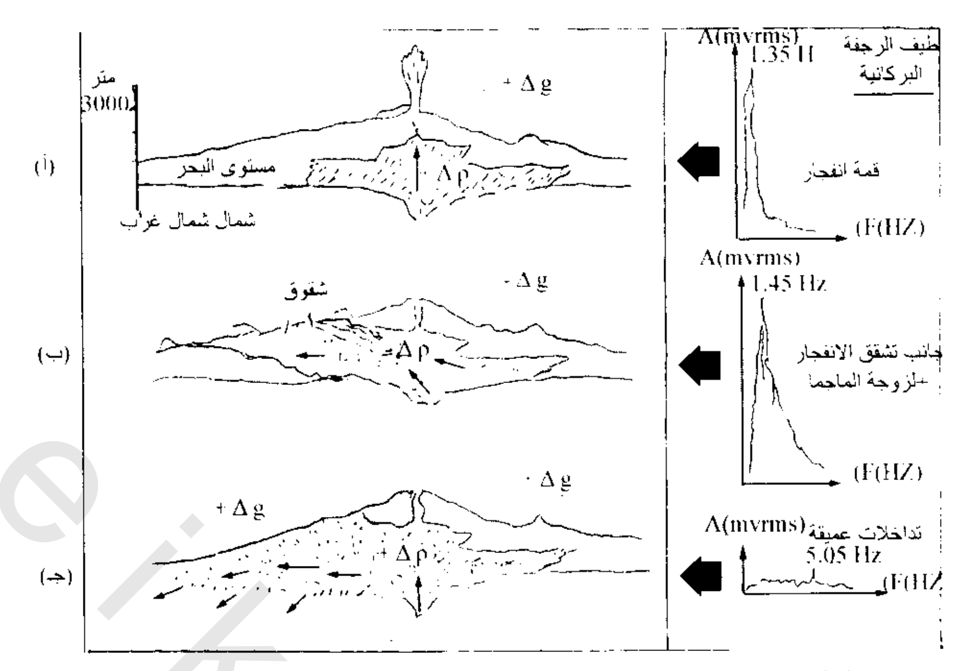


شكل (3-75): شاذة بوجير عبر وادى نهر جنووب ساسكاتشوان والقطاع الجيولوجى عبر الجاذبية المنخفضة (هال وهاجنال Hall and Hajnal 1962

17.3 مخاطر البراكين Volcanic Ha ards:

بظهور أجهزة وطرق مسح عالية الدقة وبإمكانية جرافيمترات حساسة جدا أمكن مراقبة التغير فى إرتفاع جوانب البراكين النشطة وأبعد من هذا يمكن توقع الإضطرابات المقبلة وغالبا ماتصاحب هذه الدراسة مراقبة سيزمية (كوسنتينو وآخرين Consentino et al 1989). وقد أجرى ساندرسون وآخرين Sanderson et al 1983 مثل هذه المراقبة الجاذبية مع برنامج قياس المناسيب على جبل إتنا Etna بسيسلى Sicily خلال الفترة من أغسطس 1980 إلى أغسطس 1981 وخلال هذا الوقت أخذت جوانب الإضطراب البركانى مكانها (17-23 مارس 1981) وكان من نتائجها إنسياب الحمم وبالتضييق على إنسيابها لم تصل مدينة راندازو Randazzo. وقد وضح شكل (3-76) عدة قطاعات لرسم تخطيطى لثلاث مستويات من شقوق الإضطرابات.

وقد فسر التغير فى الجاذبية المصاحبة لزيادة الإرتفاع كحقن (إنيتاس) لصهارة جديدة على عملق 1.5 كم خلال تداخل سد حديد (شكل 76أ). ويلاحظ النقص فى الجاذبية عندما تأخذ الإضطرابات مكانها بسبب النقص فى المواد (شكل 76ب). وكذلك تفسر الزيادة فى الجاذبية بدون أى زيادة فى الإرتفاع بسبب زيادة كثافة الصهير بواسطة فرض قوة موضعية جديدة عند الأعماق (شكل 76ج). أما إزدواجية تغير الجاذبية (≈ 2-25 ميللجال) مع التغير الجديد فى الإرتفاع (< ≈ 20 سم) فهذا يبرهن على معنى التحديد خلال انفجار البركان بتداخل مواد جديدة أو التغير فى الكثافة التى تأخذ مكانها.



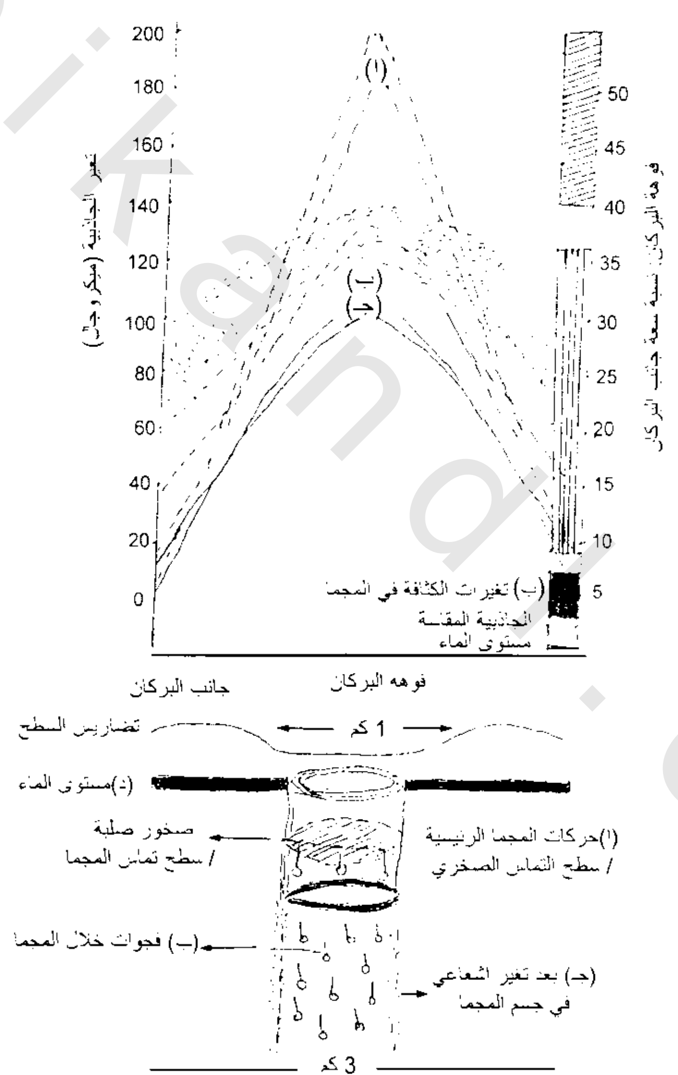
شكل (3-76): رسم تخطيطى لمراحل اضطرابات تشقق على جبل اتنا Etna بسيسلى Sicily مع اتجاهات الجاذبية، ومع تطابق رجفة شعاعية بركانية (ساندرسون وآخرين Sanderson et al 1938، كوسنتينو وآخرين Cosentino et al 1989)

لخص ريمر وبرو 1987 & 1989 Rymer and Brow تأثر الميكروجراف الناتج عن حركة الماجما على سطح التماس ودورة الفجوات مع عمود الماجما والتغير الشعاعى فى أبعاد جسم الماجما لبركان بوأس Poas فى كوستاريكا Costarica فى شكل (3-77). ويمكن تمييز العمليات الفردية الداخلية فى هذه البراكين الخاصة بوضوح بواسطة استخدام نسبة تأثير الجاذبية عند كلا من جانب البركان والقمة، نسبة تأثير الجاذبية عند كلا من جانب البركان والقمة، وأحيانا لاتكون كل الأنشطة تحت الأرض مصاحبة بعلامات سيزمية حيث دل تقرير الزيادة فى الجاذبية عند جبل إتنا Etna بين يونيو 1990 و1991 عن الزيادة الكبيرة فى الجاذبية الملاحظة (من رتبة 10^7 ميللجال) حول قمة فوهة البركان وعلى طول منطقة استطالة تابعة لخط الشق المتكون أثناء الإنفجار السابق 1989 حيث تداخلت المجما فى الشقوق بعد ثورة هذا البركان(تحرك الماجما قبل وجود الشقوق يعتبر غير ذى فاعلية) لذلك لايوجد تبعية للنشاط الزلزالى شكل (3-78) وذلك بدون الإعتماد على النشاط الزلزالى. وكان التغير فى الإرتفاع السطحى بين 1990 & 1991 أقل من 3 سم وقيمة تغير الجاذبية أكبر من المتوقع على أساس تغير الإرتفاع فقط ويرجع ذلك لوجود بعض الزيادة فى الكتلة التحت سطحية. وتبعا لذلك فإن قياسات الميكروجرافتى مع مسح الإرتفاعات تنتج دليل على توعد (تهديد) بثورة بركانية مثل ثورة بركان جبل إتنا Etna الأخير (16 شهر من 1991-1993) خلال هذا الوقت اندفعت الماجما خارجيا من قصبة البركان بمعدل 10 م^3/ث صانعة هذا الثوران الهائل (ريمر 1993 Rymer & وريمر وآخرين Rymer et al 1993). وبدأ تزويد مراقبة ثورة البراكين عن طريق وضع زوج مراقبة من جهاز ميكروجرافى مع نموذج واضح لتردد نشاط زلزالى (طيف رجفة برجانية) مثل الذى يحدث عند جبل إتنا Etna وذلك لمصاحبة عملياته. والآن كثير من البراكين الأخرى لها برامج مراقبة نشطة باستخدام تفسيرات الجاذبية، والسيزمية، والحرارية. أيضا، يكون مراقبة إنبعاث غازى اختبارى إضافة إرشادية ملائمة لقرب نشاط بركانى مثال لذلك (عمل بندك 1995 Penick على أعمال وليمز S. Williams).

إذا كـان من الممكن الحصول علـى هذه النتـائج الـسابقة لبـراكين مفردة مـع الإتـصال بالإنبعـاث الحـرارى المقاس بواسطة الأقمار الصناعية عندئذ يمكن إدراك إحتمال تجديد إنذار لثورة بركانيـة وهـذا يؤدى لتوقـع أحسن للنشاط البركـانى وبـذلك يمكـن تقليـل المخـاطر (ريمـر وبـراون Rymer and Brown 1986 & ايجـرز Eggers 1987).

18.3 جاذبية بوجير وسمك القشرة Bouguer Gravity and Crustal Thickness:

فـى الجـزء الأول مـن القـرن العـشرين اكتـشف الـسيزمولوجيين المنـاطق الأساسية الداخليـة لـلأرض ودلـت الموجات الزلزالية الإنكسارية والإنعكاسية على أن الأربـع طبقـات متمركـزة كمـا فـى شكل (3-79) حيث تكـون النواة من منطقتين الداخلية صلبة والخارجيـة سـائلة ثم الـستار الـصلب ثم الغـلاف الخـارجى المـسى القـشرة. وقـد وضحت ظواهر جاذبية بوجير أساس التغير فى سمك القشرة



شكل (3-77): يوضح الشكل العلوى مقطع لتأثيرات الجاذبية المختلفة الناتجة عند جوانـب وقمـة بركـان بـواس بكوسـتريكا والظل يمثل معدل التغير فى تأثير الجاذبية) والنسبة للأثنين (واضحة جنبا بجنب فى الرواسب الحصاوية الرأسية) والناتج بواسطة عمليات جيولوجية مختلفة خلال البركـان (الشكل السفلى) وهذه العمليات هى: أ) الحركـة الرأسـية لمجمـا على صخـور التـماس، ب) دورة الفجـوات خـلال عمـود المجمـا ، ج) التغير الشـعاعى للأبعـاد فى عمـود المجمـا، د) التغير فى منسوب المياه الجوفية (ريمر وبراون Rymer and Brown 1987)

وبرغم أن الأفكار الأولية عن القشرة أتت أساسا من دراسة الموجات الزلزالية فقد عرف أن سمك القشرة تحت القارات يكون ما بين 30-60 كم والصخور المكونة للجزء العلوى يطلق عليها سيال (سيلكا وألومنيوم) وكثافتها 2.1-3.8 جم/سم^3 والصخور المكونة للجزء السفلى يطلق عليها سيما (حديد ومغنسيوم) وكثافتها 3.0-2.8 جم/سم^3. وسمك القشرة تحت أحواض المحيطات ما بين 5-10 كم وتتكون كلية من صخور ماقنية mafic rocks (حديد – مغنسيوم). والحد بين القشرة والستار يسمى فاصل موهو ((Hohorovcic (Moho).

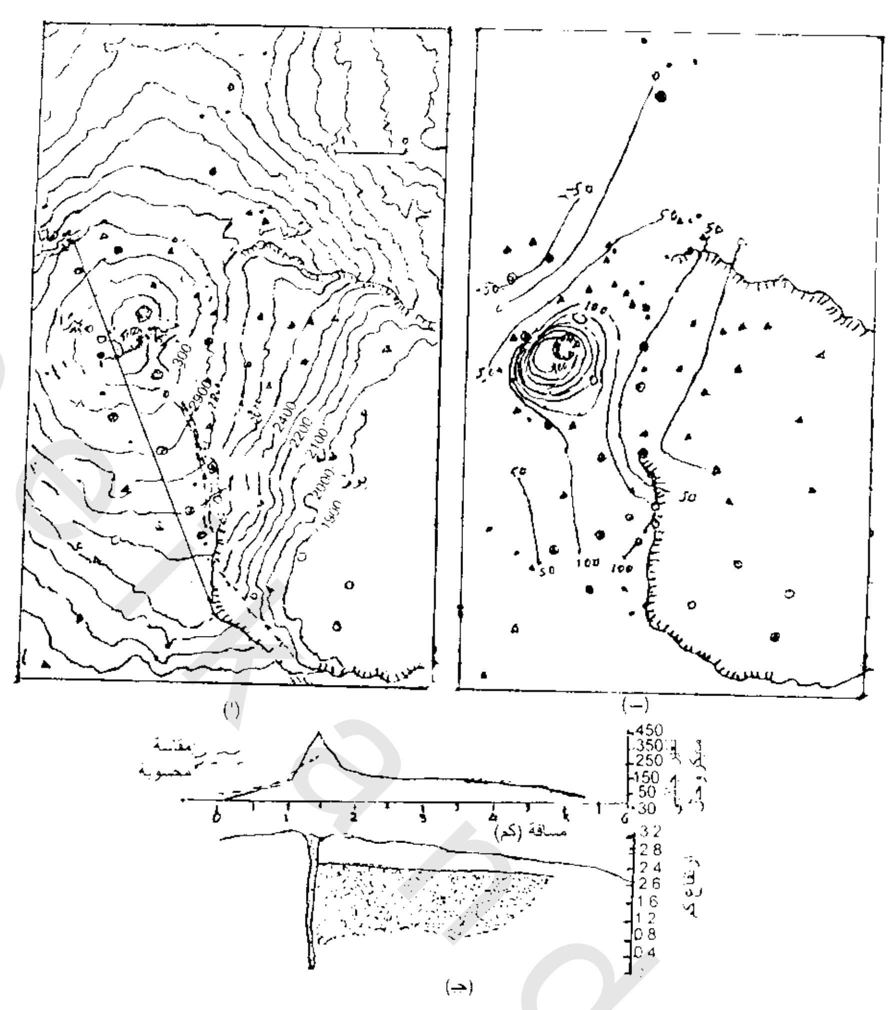
أهم ظاهرة للقشرة هى العلاقة بين متوسط السمك ومتوسط الإرتفاع عن سطح الأرض وهذه واضحة فى شكل (3-80 أ) والذى يوضح أن سطح القشرة يكون نموذجى مع مناطق الإرتفاعات. وأحيانا تكون القشرة رفيعة فى مساحات الأراضى المنخفضة وتصبح أقل سمكا تحت المحيطات حيث عند سطح الأرض الصلب عدة كيلومترات تحت مستوى سطح البحر. ويلاحظ أنه بالقرب من الشاطئ يقترب سمك القشرة إلى 32 كم. وتكون الظواهر المشاهدة فى شكل (3-80) نموذج للقشرة تحت القارات والمحيطات فى أجزاء أخرى من العالم.

من شكل (3-80) يلاحظ أن جاذبية بوجير تتأثر بواسطة التغير فى سمك القشرة، حيث أن الجاذبية المنخفضة (قيم سالبة كبيرة) تكون نموذج لمناطق القشرة السميكة والقيم الكبيرة والتى تقترب من صفر ميللجال موجودة فى مساحات الأراضى المنخفضة وتقترب إلى الشواطئ. وتميز القيم الموجبة الكبيرة مناطق المحيطات حيث تكون القشرة رفيعة جدا.

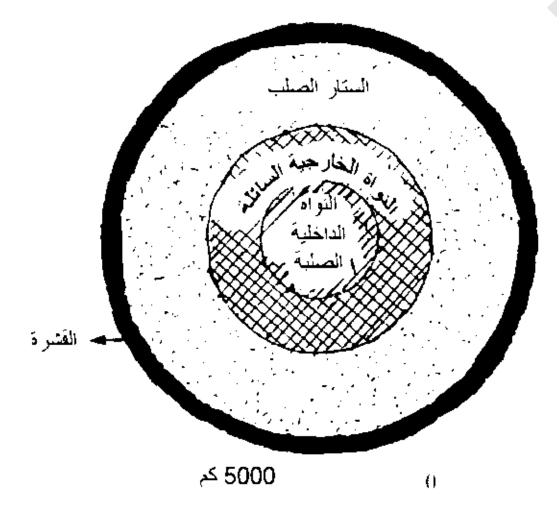
يساعد الشكل النموذجي شكل (3-81) فى كيفية تفسير أن الجاذبية تتجه للتغير العكسى مع سمك القشرة. وهنا وصفت القشرة كطبقة والتى تزيد فيها الكثافة من 2.67 جم/سم^3 عند سطح الأرض إلى 3.0 جم/سم^3 عند فاصل موهو وترتكز على ستار متجانس كثافته 3.3 جم/سم^3. لذلك فإنه:

أولا: بالنظر للقطاعات أ، ب والتى تقع عند إرتفاعات مختلفة لسطح الأرض فإن عملية حساب الجاذبية من القياسات الجاذبية عند هذه القطاعات تتم مع عمل الإنضباطات التى تحسب لأى اختلافات ناتجة عن التسطح والدوران والإرتفاع والكتلة فوق مستوى البحر، ولكن لاتجرى أى انضباطات فالإختلافات الأخرى وهى متوسط الكثافة والتى تعتمد على التناسبات لكثافات صخور القشرة المنخفضة والكثافة العالية لصخور الستار تحت كل قطاع. لذلك فالخطوط الرأسية الممتدة لأسفل للقطاعات أ، ب لنفس العمق فى الستار أسفل مستوى سطح البحر، فيلاحظ أن الخط أ يمتد بنسبة أكبر خلال صخور القشرة من الخط ب دالا بذلك على متوسط كثافة أقل تحت أ عن ب، وهذا يوضح أن جاذبية التثاقل الناتجة من اشتراك كل من القشرة والستار ستكون أصغر من أ عن ب ولهذا السبب فإن قيمة الجاذبية عند أ أقل من قيمتها عند ب.

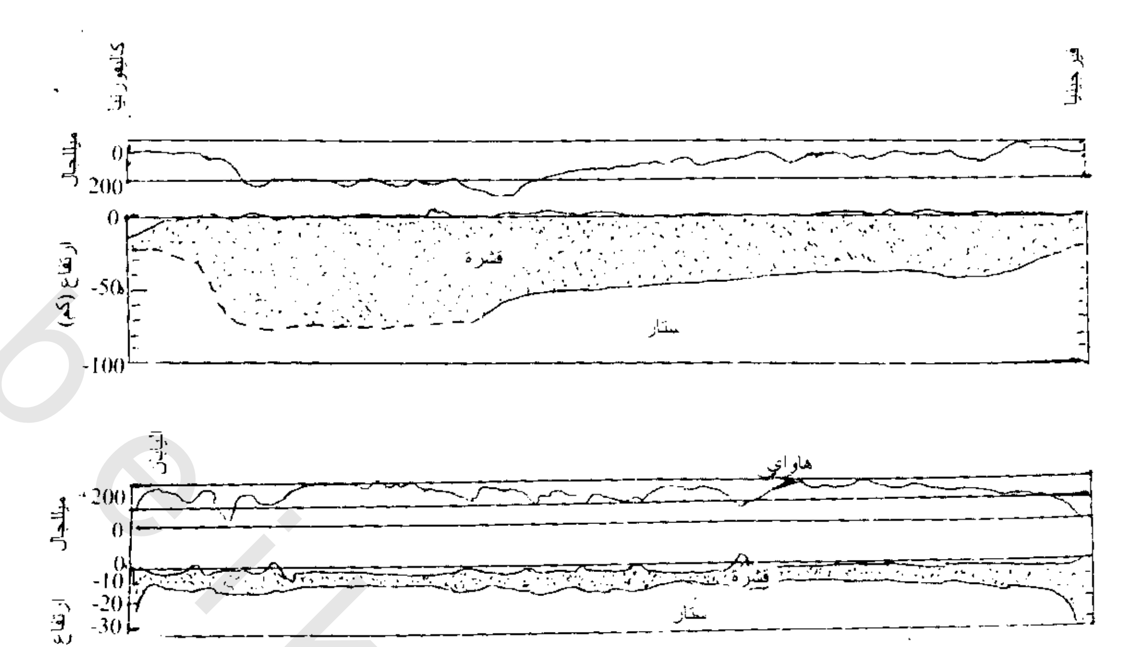
ثانيا: بالنظر بعد ذلك للقطاع د على جزء البروفيل عند المحيط وحيث أن القشرة رفيعة فإن الخط الرأسى يمتد خلال نسبة كبيرة من الكثافة العالية للستار. وينتج بذلك متوسط كثافة عالية لاشتراك القشرة والستار فيها بنسبة أقل للقشرة وأكبر للستار، وبالتالى تكون جاذبية بوجير عالية عند القطاع د بالمقارنة بقطاعى القارات أ، ب.



شكل (3-78): خرائط توضح: أ) أماكن أجهزة الميكروجرافتي ومحطات مراقبة التشوه، ب) خريطة ميكروجرفتي لمنطقة قمة بركان إتنا، المسافة الكنتورية 50 ميكروجال، ج) أفضل نموذج لتغير الجاذبية المقاسة حيث تشمل 4 سدود وأنبوبة عميقة ذات قطر 50 متر مملوءة بالمجما عند بعض الوقت بين مجموعتين من القياسات في يونيو 1990 ويونيو ١٩٩١ (ريمر Rymer 1993 & وريمر وآخرين Rymer et al 1993)



شكل (3-79): النطاقات الداخلية للأرض.

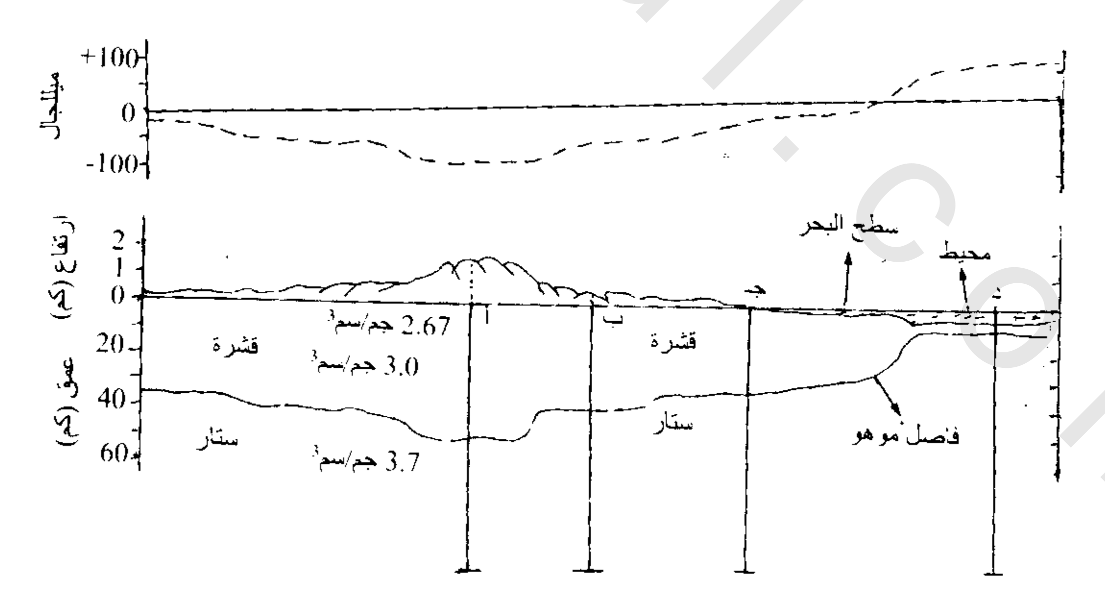


شكل (3-80): بروفيل لتغير جاذبية بوجير وسمك القشرة عبر أ) الولايات المتحدة الأمريكية، ب) شمال المحيط الهادى

ثالثا: يقع المقطع جـ على الشاطئ حيث يكون سمك القشرة حوالى 32 كم وتكون الجاذبية عنده مساوية للصفر لأن سطح الأرض يصل لمستوى سطح البحر عند الشاطئ ويختفى مصطلحى الكتلة والإرتفاع من معادلة بوجير.

$$\Delta g_B = \Delta g_{obs} + \Delta g_{\varphi} \pm (0.3086\ h\ ñ\ 0.04193\ \rho h)$$

حيث g_{φ} تصحيح خط العرض، h الإرتفاع بالمتر، ρ = الكثافة (علاقتها بالكتلة).



شكل (3-81): بروفيل نموذجى يوضح العلاقة الإقليمية بين جاذبية بوجير وإرتفاع سطح الأرض وسمك القشرة. يوضح الإتجاه عبر مناطق كبيرة لجاذبية بوجير إلى التغير العكسى مع الإرتفاع وسمك القشرة

وقد دلت الدراسات السيزمية على أن سمك القشرة عند أغلب الشواطئ حوالى 32 كم وهذه توضح لماذا تتراوح قيم الجاذبية ما بين +20 & -20 ميللجال حول الصفر عند المساحات الشاطئية، وعند بعض الأماكن الأخرى والتى تتراوح فيها سمك القشرة حوالى ٣٢ كم. وهذا يوضح أن القشرة لها تأثير عميق على تغير جاذبية بوجير الإقليمية. وقد تصل قيم الجاذبية إلى -2000 ميللجال أو أقل فى مساحات الأراضى العالية حيث يصل سمك القشرة لحوالى 60 كم ولكن تزيد قيمة الجاذبية إلى +200 ميللجال أو أكثر عند قشرة المحيط والتى يبلغ سمكها حوالى 5 كم. وتشارك ظواهر المقاييس الجيولوجية الكبيرة للقشرة فى تغير جاذبية بوجير الإقليمية حيث فروق الكثافة والتى لها علاقة بالفوالق الكبيرة والإختلاف الإقليمى فى سمك الرسوبيات المتجمعة فى أحواض واسعة ممكن أن تنتج نماذج لجاذبية بوجير كأنها عدة عشرات من الكيلومترات الواسعة.

الفصل الرابع

طريقة المغناطيسية

Magnetic Method

1.4 مقدمة Introduction:

تعتبر طريقة المغناطيسية أكثر عمومية من طريقة الجاذبية فى البحث والتنقيب عن الخامات والبترول والإستخدامات الجيولوجية، برغم أن شاذات كلاهما تنتج من التغير فى الخواص الطبيعية للصخور التحت سطحية كما أن تفسيراتهما تحتاج لنفس الأسس.

وربما تكون طريقة المغناطيسية اكثر تعقيدا من طريقة الجاذبية سواء فى الأساسيات والتطبيقات العملية. والسبب الأساسى فى ذلك أن تأثير خواص المغناطيسية للصخور وشدتها لها قيمة وإتجاه بينما الخواص المقابلة لها والمتحكمة لمجال الجاذبية هى الكتلة ذات القيمة فقط. وربما ايضا يكون لآثار قليلة لمعادن معينة فى الصخور تأثيرات مغناطيسية كبيرة بينما تأثيرات الجاذبية تنتج أساسا من تكوينات الصخور الأولية. وبرغم من هذا فإن أهمية طريقة المغناطيسية يرجع لنجاح تطبيقاتها فى مناطق حيث يكون الزيت والتكوينات الحاملة له عادة غير مغناطيسية وبحكم تركيباتها الناتجة من صخور نارية أو صخور بللورية وحواف صخور نارية مدفونة تحتها والتى تشكل طيات محدبة أو كتل نارية وفوالق لها إزاحات وهذه التكوينات لها مغناطيسية ممكن الكشف عنها. وتعكس هذه التركيبات صورة للتركيبات الرسوبية التى فوقها والحاملة للزيت.

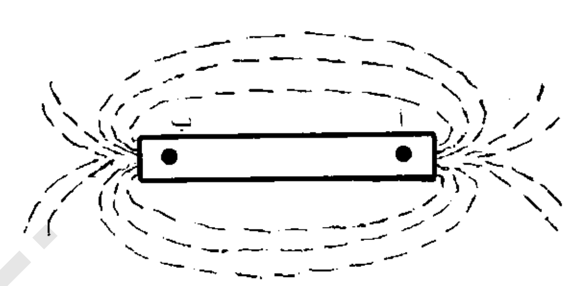
فى طريقة المغناطيسية يجب عزل التقلبات الدقيقة فى المجال المغناطيسى الأرضى الناتجة من الظواهر التركيبية الصغيرة والكبيرة ذات الأهمية الإقتصادية عن التقلبات الكبيرة والتى عادة ليس لها أهمية إقتصادية ويجب إزالتها من الشدة المغناطيسية المقاسة. ولكى يتم هذا يجب أولا معرفة المصطلحات والتعريفات التى تستخدم غالبا لوصف المغناطيسية والخواص المغناطيسية للمواد وأيضا للحصول على معرفة بالمغناطيسية الأرضية خاصة على مستوى الكرة الأرضية.

2.4 الأساسيات والتعريفات Basic Concepts and Definitions:

1.2.4 الأقطاب المغناطيسية Magnetic Poles (P):

إذا نثرت برادة حديد بطريقة عشوائية على لوح من الورق والموضوع فوق قضيب مغناطيسى فإن هذه البرادة تتشكل على شكل خطوط شكل (4-1)، وهذه الخطوط التى ترتب البرادة نفسها عليها عادة تسمى (خطوط

القوى المغناطيسية)، والنقط التى من عندها تمتد هذه الخطوط من واحدة للأخرى تعرف بالأقطاب. ولذلك إذا علق قضيب مغناطيسى من منتصفه وترك يدور بحرية فى جميع الإتجاهات فإنه يأخذ خط على طول المجال المغناطيسى الأرضى (خطوط القوى المغناطيسية الأرضية والتى هى نفسها مغناطيس كبير) وأحد أقطابه يتجه إلى القطب الشمالى الأرضى (يسمى القطب الشمالى للقضيب) والآخر للجنوب الأرضى (يسمى القطب الجنوبى للقضيب).



شكل (4-1): خطوط القوى حول القضيب المغناطيسى (أ، ب هى الأقطاب)

2.2.4 العزم المغناطيسى Magnetic Moment (M):

حيث أنه لاتوجد أقطاب مغناطيسية معزولة، فإن العزم المغناطيسى لقضيب مغناطيسى بسيط (PL) ينتج من حاصل ضرب قوة القطب المغناطيسى (P) والمسافة بين القطبين L أى أن $M = PL$ وهى كمية متجهه لذى القطبين وتكون فى إتجاه القطب الشمالى (تمتد من القطب الشمالى للقطب الجنوبى) حيث أن المغناطيسية الفعلية عامة تعتبر ثنائيات القطب المغناطيسى. وإذا كان الجسم المغناطيسى اختياريا وحجمه (V) والمغناطيسية الكلية له (J) فإن العزم المغناطيسى له هو العزم المغناطيسى لوحدة الحجوم أى $M = \frac{J}{V}$.

3.2.4 القوة المغناطيسية Magnetic Force (F):

كما فى حالة الكتلة فى الجاذبية فإن القوة بين قطبين تعتمد على حاصل ضرب قوتهم وعكسيا مع مربع المسافة بينهم

$$\therefore F = C\frac{P_1P_2}{r^2} \qquad (4\text{-}1)$$

حيث C ثابت نسبى يعتمد على إختيار نظام الوحدات وخواص مغناطيسية الوسط. وعندما تكون وحداته من نظام (سنتيمتر-جرام-ثانية) فإن قيمته تساوى الوحدة عندما تكون F بوحدة الداين، P بوحدة أورستد، r بوحدة السنتيمتر.

4.2.4 المجال المغناطيسى Magnetic Field (H):

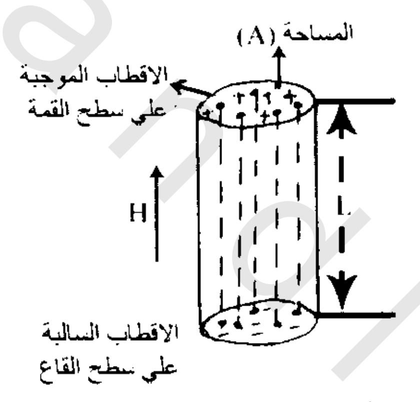
عادة ما يكون نظام شدة المجال المغناطيسى بوحدات (سنتيمتر-جرام-ثانية) عندما تكون قوة الأقطاب بالأورستد، والقوة بالداين فإن شدة المجال المغناطيسى تكون بالأورستد.

$$\therefore H = \frac{F}{P} \qquad (4\text{-}2)$$

ويكون إتجاه المجال المغناطيسى فى إتجاه القطب المتحرك لإتجاه القطب الشمالى الأرضى. ومتوسط شدة المجال المغناطيسى عند سطح الأرض حوالى 0.5 أورستد وهذه القيمة كبيرة جدا عند إجراء المسح المغناطيسى التنقيبى لذلك فعادة ما تستخدم وحدة صغيرة جدا لهذا المسح تسمى الجاما (gamma) حيث أن وحدة الجاما 10^{-5} = أورستد.

5.2.4 شدة التمغنط أو الإستقطاب Intensity of Magnetism or Polarization (I):

إذا وضعت مادة مغناطيسية فى مجال مغناطيسى خارجى (H) فسوف يكون لها أقطاب مستحثة على سطوحها المستحثة (الإستقطاب) يكون فى إتجاه المجال الممغنط (المسلط) وشدته تتناسب مع شدة هذا المجال ويمكن اعتبارشدة التمغنط (I) هى شدة القطب المستحث لكل وحدة مساحة على السطح العمودى للمجال الحاث وهى أيضا تكافئ العزم المغناطيسى لكل وحدة حجوم ويدل هذا النوع من التمغنط على اصطفاف لمغناطيسيات عنصرية أو ثنائيات قضيب ذات ترتيب عشوائى أصلا فى إتجاه المجال الممغنط وتعتمد عدد المغناطيسيات المصفوفة على شدة هذا المجال.



شكل (4-2): الإستقطاب المستحث فى إسطوانة لمادة متجانسة بواسطة مجال عمودى على الأطراف ، L المسافة بين الأقطاب وتستخدم فى حساب العزوم المغناطيسية الفعالة لمجال منتظم

6.2.4 القابلية المغناطيسية Magnetic Susceptibility (K):

عندما يوضع جسم قابل للتمغنط فى مجال مغناطيسى فيأخذ درجة معينة من المغناطيسية تتناسب مع المجال وأيضا تعتمد على حالة التمغنط، والقابلية المغناطيسية للجسم هى مقياس حالة التمغنط مع المجال الموضوع فيه أى

$$I \,\alpha\, H$$

$$\therefore I = K H \qquad (4\text{-}3)$$

$$\& \;\; K = \frac{I}{H}$$

حيث K تسمى القابلية المغناطيسية. فى حالة الفراغ K تساوى صفر وتعتبر القابلية المغناطيسية خاصية مهمة جدا للصخور فى طرق التنقيب المغناطيسى مثل الكثافة فى طرق التنقيب التثاقلى (الجاذبى). وقد صنفت القابلية المغناطيسية للصخور المختلفة إلى المجموعات التالية:

1) ديامجنيتك Daimagnetic
2) بارامجنيتك Paramagnetic
3) فيرومجنتيك Ferromagnetic
4) العكسفرومجنيتيك Antiferromagnetic
5) الفيريمجنيتك Ferrimagnetic
6) الفوق بارامجنيتك Super-paramagnetic

المواد المسماة ديامجنيتك لها قابلية مغناطيسية (K) سالبة أما المجموعتين الأخرتين (بارامجنيتك، فيرومجنيتك) فلها قابلية مغناطيسية (K) موجبة وهذا يرجع للتركيب الذرى للمواد.

وتبعا لقوانين الكهرومغناطيسية فجميع الذرات لها عزم مغناطيسى، يرجع لحركة المدار ودوران الإلكترونات بها. فى أغلب المواد فإن العزم المغناطيسى للذرات الملتصقة تتحرك عشوانيا فى غياب المجال الخارجى ولذلك فإن العينة ليس لها نتيجة مغناطيسية. وينتج التمغنط نتيجة لتطبيق مجال مغناطيسى خارجى.

وفى المواد الديامغناطيسية فإن الحث المغناطيسى J يكون عكس المجال المطبق H وتتكون بذلك قابلية مغناطيسية سالبة وجميع المواد ديامغناطيسية ولكن كثير من المواد لها تأثيرات افتراضية كبيرة أخرى والتى تبهم هذه المغناطيسية الضعيفة. كثير من المعادن العامة مثل الكوارتز، فلسبار، جيبسم والحجر الملحى سائدة الديامغناطيسية وذات قيم سالبة صغيرة $K \approx -10^{-6}$ cgs.

وتسود البارامغناطيسية فى المواد التى تحتوى على الكترونات غير مزدوجة وتعود أساسا إلى عدم إتزان دوران العزوم المغناطيسية وتنتشر العزوم العشوائية ولكن فى وجود مجال مغناطيسى، وتتجه الخطوط فى إتجاه المجال ولكن تقاوم الإتجاهين بواسطة الآثار الحرارية. والقابلية المغناطيسية للمواد البارمغناطيسية موجبة وتقل عكسيا مع درجة الحرارة المطلقة (قانون كورى-فيس Curie-Weis Law)، وتوجد المعادن البارامغناطيسية مكررة فى الصخور الطبيعية مثل البايروكسينات، الأولوفينات، الجارينتات، البيوتيتات والأمفيبولات.

فى بعض مواد معينة والمصنفة بإتساع كفيرومغناطيسية وحديدومغناطيسية، تكون القابلية المغناطيسية أكبر فى القيمة بعدة درجات وأحيانا أكبر من 10 c.g.s. وهى ذات قيمة موجبة وتعتمد على درجة الحرارة وشدة المجال المطبق. وفى هذه المواد يكون عزم دوران الإلكترونات غير المزدوجة مزدوج المغناطيسية بين الذرات المتجاورة. ونتيجة لهذه التفاعلات القوية تنتج المغناطيسية اللحظية حتى فى غياب المجال الخارجى. والخاصية الملاحظة الأخرى هى قدرتها للعودة للتفاوت الصفى بواسطة المجال المطبق بعد إزالته.

1.6.2.4 مجموعة الديامجنيتك Diamagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية سالبة مثل جرافيت، كوارتز، صخور الملح، كالسيت

$K \approx -10.10^{-6}$ c.g.s

2.6.2.4 مجموعة البارامجنيتك Paramagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية موجبة ضعيفة مثل:

1) حجر جيرى، فحم، بيريت، حجر رملى، طين

$K \approx 10.10^{-6}$ c.g.s

2) هاماليت، ليمونيت، دايوريت، جابروشيست، حجر جيرى أوليتى، كروميت

$K \approx 10^{-4}$ c.g.s.

3) سربنتين، جرانت، نيس، إردواز، دولوريت، كوارتز حديدى

$K \approx 10^{-3}$

4) كالكوبيريت، بازلت

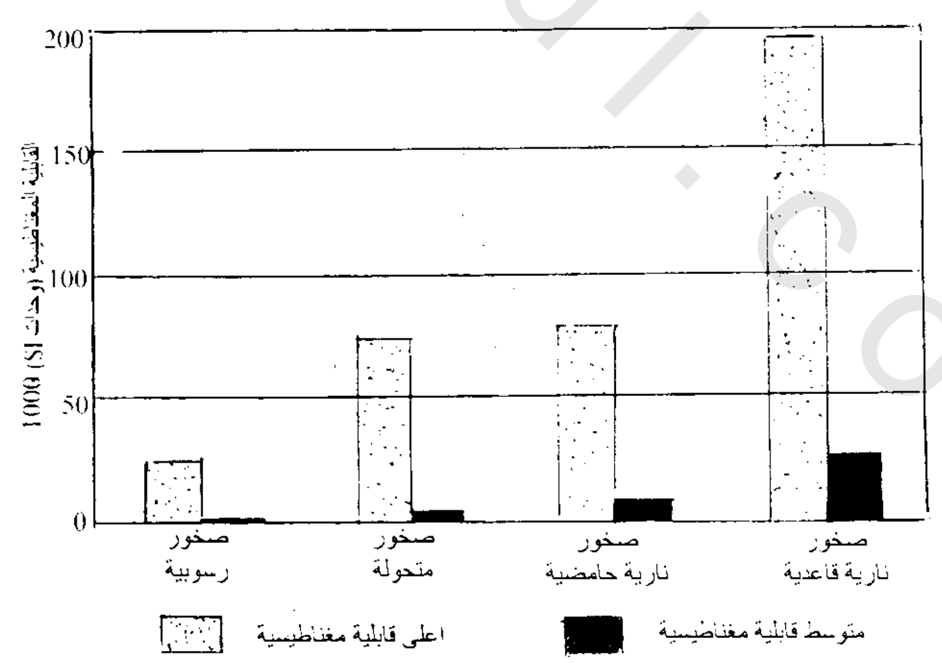
$K \approx 10^{-2}$ c.g.s

3.6.2.4 مجموعة الفيرومجنيتك Ferromagnetic Group:

لها قابلية مغناطيسية ذات قيمة كبيرة وهذه تحتوى أساسا على أكسيدات الحديد، ماجنتيت، بيرولينيت، الومونيت

$K \approx 10^{-1}$ c.g.s

وتبعا لذلك فإن الصخور النارية القاعدية وفوق القاعدية لها قابلية مغناطيسية عالية والصخور النارية الحامضية فلها قابلية مغناطيسية أقل تليها الصخور المحولة أما الصخور الرسوبية فلها عامة قابلية مغناطيسية صغيرة كما فى شكل (4-3).



شكل (4-3): القابلية المغناطيسية لمجموعة أنواع الصخور

4.6.2.4 العكسفرومجنيتك Antiferromagnetic:

تنشأ هذه الظاهرة عندما تكون العزوم المغناطيسية لمواد فيها الوحدات البللورية المكونة للبلورة ذات إتجاهات متعاكسة بحيث يكون المجموع الكلى لهذه العزوم مساويا للصفر. وهذا يتأتى عندما تكون عزوم مجموعة من الذرات فى هذه الوحدات مساو ومعاكس لمجموعة أخرى من الذرات. وهذه الحالة تتم فى عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى. وتكون لهذه المواد صفة البارامجنيتك paramagnetic فى حالتين:

1- فى مجال مغناطيسى خارجى وينشأ تمغنط ضعيف موجب.

2- إذا تغيرت درجة الحرارة إلى درجة حرارة نيل (Neel Temperature T_n).

فى بعض الأحيان لاتكون العزوم المغناطيسية متعاكسة نتيجة لدوران إتجاه التمغنط حول أحرف الوحدة البللورية وينتج بذلك تمغنط ضعيف كلى يسمى نازع العكسفرومجنيتك (conted antiferromagnetics) وأهم مثال لظاهرة العكسفرومجنيتك هو الهماتيت.

5.6.2.4 الفيريماجنيتك Ferrimagnetic:

تقع موادها فى سلوكها المغناطيسى بين الفيروماجنيتك والعكسفيريماجنيتك فالعزوم المغناطيسية المتواجهة بجوار حوائط البلورات (الحيوز المغناطيسية (magnetic domains) متعاكسة فى إتجاهها ولكن يكون مقدار أو طول متجه التمغنط غير متساوى بحيث ينتج تمغنطا نهائيا كبيرا. وعدم التساوى هذا إما لعدم تساوى عزوم التمغنط أو لعدم تساوى المجموع الكلى لعزوم التمغنط داخل الوحدة البلورية أى لعدم تساوى عدد المغناطيسيات الثنائية (dipole magnets) نفسها. ولمواد هذه المجموعة تمغنط باقى (remanent) ينعدم عند رفع درجة الحرارة فوق درجة حرارة كورى (Curie Temperature T_c) حيث تتحول المادة إلى الخاصية البارامغناطيسية. ومن أمثلة هذه المواد الماجنتيت Fe_3O_4 والماجميتيت Fe_2O_3 وكثيرا من المواد الأخرى.

6.6.2.4 الفوق باراماجنيتك أوالسوبر باراماجنيتك Superparamagnetic:

عندما تكون الحبيبات المغناطيسية متناهية فى الصغر أى حجمها أقل من 0.1 ميكرومتر أى أن حجمها فى حدود حجم الوحدة المغناطيسية البلورية الصغيرة المكونة للمادة Magnetic domains تكون العزوم المغناطيسية لهذه الوحدات البلورية سريعة الترتيب، عند فقدها لطاقة الحركة سريعة وشديدة التشبع فى المجال الخارجى، أى أنها تتعاون فيما بينها فترتب المغناطيسيات ثنائية القطب الذرية (atomic dipole moments) فى إتجاه متساوى فيحدث تمغنط عالى جدا. ولكن عند إكتساب المادة لأى طاقة (حرارية مثلا) فإن هذه الطاقة تتحول لطاقة حركة تعمل على تدمير تراص وترتيب الحبيبات المغناطيسية وتصير العزوم المغناطيسية موزعة عشوائيا وتفقد بذلك المادة تمغنطها تماما. فإذا وجد بعد ذلك مجال مغناطيسى خارجى فإن هذه الحبيبات تترتب مرة أخرى فى إتجاه هذا المجال وعادة ما يكون زمن الترتيب والإضطرابات صغير وهذا النوع من التمغنط متفاعل مع المجال المغناطيسى الخارجى.

7.2.4 الحث المغناطيسى Magnetic Induction:

هو قياس شدة المجال خلال الجسم الممغنط وفى حالة خطوط القوى المغناطيسية ربما يعتبر عدد الخطوط لكل سنتيمتر مربع هو الحث المغناطيسى ووحدة الحث المغناطيسى هو الجاوس والحث الكلى P خلال الجسم الممغنط ربما يعتبر خطوط مجال التمغنط الأصلى H بالإضافة لهذه الناتجة من شدة التمغنط I (تعنى العزم

المغناطيسى لكل وحدة حجم) الناتجة بواسطة المجال المغناطيسى. لهذا فإن وحدة العزم وكذلك وحدة الشدة المغناطيسية (التى لها خطوط 4πI من الحث المغناطيسى) هى الحث المغناطيسى

$$\therefore B = H + 4\pi I \qquad (4\text{-}4)$$

ولكن

$$I = KH$$

$$\therefore B = H + 4\pi KH$$

$$= H(1 + 4\pi K)$$

8.2.4 النفاذية المغناطيسية Magnetic Permeability:

إذا توازى المجال المغناطيسى H والحث الناتج β (وعادة هذا مايكون) فإن النفاذية تحدد بواسطة المعادلة

$$M = \beta/H$$

$$= \frac{H(1+4\pi K)}{H} = 1 + 4\pi K \qquad (4\text{-}5)$$

9.2.4 مغناطيسية ثنائى القطب Magnetic Dipole:

أساس مغناطيسية ثنائى القطب يكون قاعدة لفهم سلوك مغناطيسية جزيئات المواد ذات الأبعاد الصغيرة جدا إلى مغناطيسية الأرض ككل. رياضيا نعتبر ثنائى جزئ يتكون من قطبين مغناطيسين ذات قوة m & m̃ وحجمه الطبيعى والمسافة بينهما متناهية الصغر ولكن له عزم مغناطيسى محدود M =mL لهذا فإن ثنائى القطب يمثل مغناطيس مثالى أولى. سوف نشتق التعبير للمجال المغناطيسى الناتج من ثنائى القطب (مغناطيسى أولى) عند نقطة أ بعيدة بمسافة r من مركز المغناطيس شكل (4-4) ويساعدنا هذا الحساب البسيط لفهم كمية المغناطيسية المؤثرة الناتجة بواسطة الأجسام المغناطيسية وحيث أن الجهد المغناطيسى W للنقطة أ لمغناطيس شدته m على مسافة r

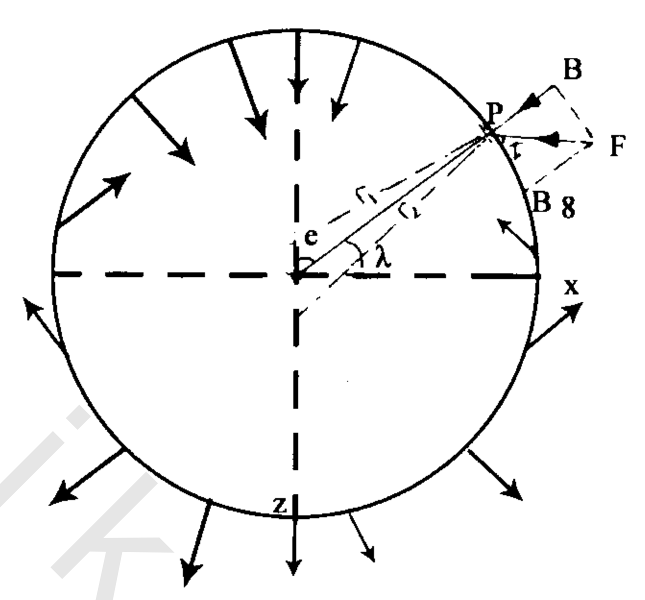
$$\therefore W = \frac{\mu_o}{4\pi}\left(\frac{m}{r}\right) \qquad (4\text{-}6)$$

μ_o ثابت عالمى للنفاذية المغناطيسية للفراغ وقيمته $4\pi.10^{-7}$(SI) لذلك فإن الجهد المغناطيسى W عند P تكون مجموع القطبين الموجب والسالب

$$\therefore W = \frac{\mu_o}{4\pi}\left(\frac{m}{r_1} - \frac{m}{r_2}\right) = cm\,\frac{\alpha(1/r)}{\ell}$$

حيث c ثابت $= \frac{\mu_o}{4\pi}, \partial(1/r)$ يمثل الفرق الصغير بين $r\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ وإذا كانت ℓ صغيرة جدا ، ℓ / $\partial(1/r)$ معدل التدرج لـ 1/r فى إتجاه ℓ وأخذنا نظام الإحداثيات طالما ℓ فى إتجاه Z، $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ عندئذ يمكن كتابة التعبير لـ W كالآتى:

$$W = c\,m \frac{\partial}{\partial Z}\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{cm}{r^2}\cos\theta \qquad (4\text{-}7)$$



شكل (4-4): توزيع المجال المغناطيسى الناتج من ثنائى قطب رأسى. للتقريب الأولى يعتبر أن المجال الأرضى نموذج بواسطة وضع ثنائى قطب له عزم كبير كافى عند مركز الأرض.

وتبعا لما يؤديه التفاضل السالب لجهد شدة المجال المغناطيسى فى مناظرة الإتجاه يكون المجال المغناطيسى (B) فى إتجاه r عند P كالآتى:

$$Br = \frac{\partial W}{\partial r} = \frac{2cm}{r^3}\cos\theta \qquad (4\text{-}8)$$

والمركبة العمودية للمجال تكون

$$B_o = \frac{1}{r}\frac{\partial W}{\partial \theta} = \frac{cm}{r^3}\sin\theta \qquad (4\text{-}9)$$

ويعطى المجال الكلى F وميله I (بالنسبة B_o)

$$P = \frac{cm}{r^3}(1+3\cos^2\theta)$$

$$= \frac{cm}{r^2}(1+3\sin^2\lambda)^{1/2} \qquad (4\text{-}10)$$

$$\text{and} \quad \tan I = \frac{B_r}{B_o} = 2\cot\theta = 2\tan\lambda \qquad (4\text{-}11)$$

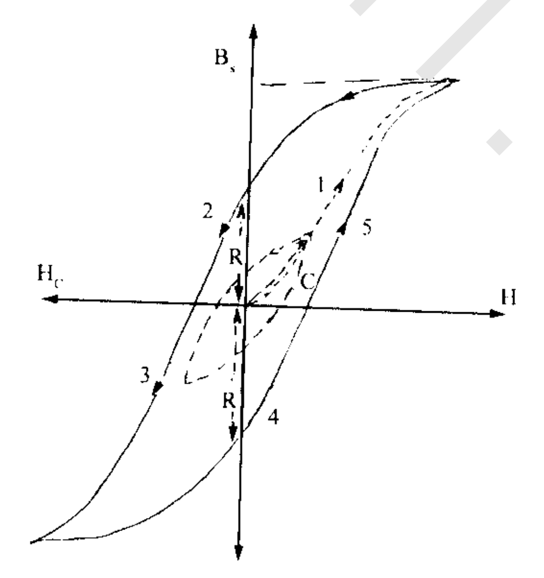
ويكون المجال أكبر ما يمكن ($=2\ cm/r^3$) عند P على طول محور ثنائى القطب ($\theta = °o, °180$) وأصغر ما يمكن عندما تقع P فى منتصف المستوى العمودى على محور ثنائى القطب.

وإذا أعتبرت P على سطح الأرض وثنائى القطب الرأسى عند مركزها عندئذ تمثل β_o & β_1 المركبة الرأسية والأفقية لمجال ثنائى القطب الأرضى ويكون m عزم ثنائى القطب لكل الأرض. وقد وجد أن ثنائى

القطب المغناطيسى يكون أحسن ملاءمة عندما يكون محور الميل للمجال الحاضر للأرض عند حوالى 11.5° من الرأسى.

10.2.4 المغناطيسية المتبقية Residual Magnetism:

العلاقة النسبية بين المجال والحث المغناطيسى الممثلة بالمعادلة $\mu = \frac{\beta}{H}$ حيث μ النفاذية المغناطيسية وهى قيمة تقريبية وتتلاشى كلية فى المواد المغناطيسية العالية*. وسلوك مثل هذه المواد المغناطيسية والمسماه بالمواد الحديدية تذهب لدورة مغناطيسية ومغناطيسية عكسية كما هو موضح فى شكل (4-5) عند وضع عينة غير ممغنطة لمواد مغناطيسية بين قطبى الكترومغناطيسى واللذان ينتجان مجال خارجى (H) والذى يمكن التحكم فيه بواسطة الزيادة أو النقصان أو إتجاه تيار عكسى. يلاحظ من شكل (4-5) فى الخطوة (1) أنه بزايدة المجال المغناطيسى (H) من الصفر يزداد الحث المغناطيسى (β) والمقاس بواسطة جلفانومتر والموصل بملف حول العينة وهذه الزيادة تكون غالبا خطية تبعا للعلاقة $\beta = \mu H$ إلى أن تصل مغناطيسية العينة للتشبع حيث يقترب المنحنى للخط الأفقى وفى الخطوة (2) عندما يقل المجال الخارجى H ويصل للصفر فإن β لاترتد للصفر تاركة قيمة مقدارها R فى العينة والتى تسمى المغناطيسية المتبقية. وفى الخطوة (3) إذا عكس المجال H ويصبح H_c (تسمى القوة الجبرية) فإن β تنقص حتى تكون أيضا معكوسة وتقترب للتشبع فى الإتجاه السالب. وفى الخطوة (4) ينقص المجال المعكوس إلى أن يصل للصفر وأيضا لاترتد β للصفر تاركة قيمة مقدارها R` فى العينة والتى تسمى المغناطيسية المتبقية المعكوسة. وفى الخطوة (5) وبإعادة المجال المغناطيسى الموجب فإن إتجاه β سينعكس مرة ثانية وتكون النتيجة فى الطور الثانى تشبع موجب. ويسمى هذا النموذج الشامل للتمغنط بحلقة التخلف المغناطيسى ويوضح المنحنى كيف أن الجسم المغناطيسى يبقى مستقطب مغناطيسيا بعد اختفاء القوة الأصلية للتمغنط.



شكل (4-5): حلقية التخلف المغناطيسى لمادة فيرومغناطيسية، R`, R الحث المغناطيسى المتبقى

* هذه المواد تملك قابلية مغناطيسية عالية نسبيا وقادرة على الإحتفاظ بالمغناطيسية باستمرار.

وتوضح الحلقة الصغيرة c فى شكل (4-5) دورة التمغنط بدون تشبع. وتعتمد ظاهرة التخلف المغناطيسى على القابلية المغناطيسية الكلية لعينة الصخر وحالة التمغنط والحث المغناطيسى للمعادن المكونة لها. وتمتد أيضا لإحداثيات غير جوهرية (مثل حجم الحبيبات، الإجهاد الداخلى ...إلخ) ويكون تأثيرها ممثل للقوة الجبرية H_c. وكقاعدة عامة تنتج القابلية المغناطيسية العالية من الحبيبات الكبيرة وكبر مجال التأثير الذى يحتوى عليه وسهولة التمغنط. وحيث أن الحبيبات الصغيرة صعبة مغناطيسيا لذلك تؤدى لقابلية مغناطيسية منخفضة ونسبيا لقوة جبرية عالية.

ومع أن الصخور عامة ضعيفة التمغنط فهذا لايعنى استبعادها لتوضيح المغناطيسية المتبقية، حيث أن كثير من مواد الصخور تتمغنط فى مكانها كحث استقطابى بواسطة المجال الأرضى الموجود. وغالبا ما يكون إتجاه التمغنط للصخور مختلف كلية (نهائيا) عن هذا المجال وهذا يقود لاستنتاج أن تمثيل محصلة تيار التمغنط والمغناطيسية المتبقية من المجال الحاضر مختلف كثيرا عن المجال أثناء تكون الصخر فى مراحلة الأولى.

ومنحنى التخلف المغناطيسى له تطبيقات كثيرة فى الصناعة أهمها الحصول على مادة (سبيكة معدنية) يكون لها منحنى التخلف قريب إلى العكس reversible أى H_c صغيرة جدا وكذلك R.

11.2.4 التمغنط الطبيعى الباقى Natural Remnant Magnetization NMR:

هو التمغنط الطبيعى الموجود بالطبيعة ويشمل تمغنط التكوين الجيولوجى وصخوره بما فيها من خليط.

يكون لبعض الصخور مجالا مغناطيسيا طبيعيا فيما حولها وهذا ناتج من أن لهذه الصخور تمغنطا طبيعيا باقيا فيها لوجود مواد مختلطة داخلة فى تركيب هذه الصخور وذات تمغنط وتسمى حوامل مغناطيسية (magnetic carriers) وغالبا ما تكون هذه المواد فريمغناطيسية وينقسم هذا التمغنط الباقى إلى:

1.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقى Thermoremnant Magnetization TRM:

ينشأ هذا التمغنط فى عينات الصخور أو فى الصخور الطبيعية عند تبردها من درجة حرارة عالية أعلى من درجة الكورى T_c إلى درجة الحرارة العادية وفى وجود مجال مغناطيسى خارجى (مجال صناعى أو مجال مغناطيسية الأرض فى الصخور الطبيعية) وهذا النوع من التمغنط هو أهم أنواع التمغنط الباقى لأنه معروف الأصل وثابت ومنتشر بكثرة فى الصخور النارية بصورة عامة والبركانية بصورة خاصة. وهذا التمغنط هو أصل تمغنط الصخور الرسوبية ذات الأصل النارى، لذلك هو أصلح أنواع التمغنط للدراسات الباليومغناطيسية والأركيومغناطيسية.

2.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقى الجزئى Partial Thermoremnant Magnetization (PTRM):

هو جزئية من التمغنط الحرارى الباقى (TRM) أى عندما تنخفض درجة الحرارة من درجة أعلى إلى درجة أقل (كلاهما تحت درجة الكورى) فى وجود مجال خارجى تعطى تمغنطا حراريا جزئيا نتيجة لذلك. أى أن التمغنط الحرارى الباقى (TRM) هو مجموع التمغنطات الجزئية (PTRM).

3.11.2.4 التمغنط الحرارى الباقى العكسى (ITRM) Inverse Thermo remanent Magnetization:

ينتج هذا التمغنط من تسخين العينة من درجة حرارة منخفضة (تحت الصفر المئوى مثلا إلى درجة الحرارة العادية فى وجود مجال مغناطيسى خارجى.

4.11.2.4 التمغنط الكيميائى البللورى

Chemical, Crystlaization, Remanent Magnetization (CCRM):

ينتج هذا التمغنط عندما يتغير التركيب الكيميائى أو البللورى فى وجود مجال مغناطيسى خارجى (مجال مغناطيسى أرضى أو مجال صناعى) كحدوث أكسدة لمكونات الصخور أو إختزال أو تميؤ أو نقص التميؤ أو ترسيب مواد لاحمة بين الحبيبات أو ذوبان وإنصراف المواد اللاحمة أو إعادة تبلور أو نمو الحبيبات وهذا النوع من التمغنط موجود بكثرة فى بعض الرسوبيات الحمراء الغنية بالهيملتيت وأكاسيد الحديد الأخرى وكذلك فى الصخور المتحولة.

5.11.2.4 التمغنط الرسوبى (DRM) Depositional, or Detritla, Remanent Magnetication:

ينشأ هذا التمغنط فى الصخور الرسوبية وينتج من أن الفتات الناتج من عمليات التعرية والنحت والنقل يحتوى على حبيبات مغناطيسية صغيرة (لها طبيعة ثنائية القطب). وعند ترسبها فى ماء البحار أو البرك (أو فى كمية من الماء فى المعمل) تميل هذه الحبيبات إلى ترتيب نفسها فى إتجاه المجال المغناطيسى الخارجى السائد (المجال الأرضى فى حالة الصخور الطبيعية أو فى مجال صناعى فى التجارب المعملية) فتتراص جزئيا وينشأ هذا التمغنط الرسوبى (DRM). وهو عادة ما يكون مساويا فى الإتجاه للمجال الخارجى ومتناسبا معه فى الشدة. وهذا النوع من التمغنط مهم جدا فى الدراسات الباليو-والأركيومغناطيسية.

6.11.2.4 التمغنط بالضغط (PRM) Pressure, or Piezo Remanent Magnetication:

ينتج هذا التمغنط من التشوه الميكانيكى للصخور فى وجود مجال مغناطيسى خارجى ويمكن تسميته تمغنط الإنفعال strain remnant magnetization ويمكن أن يكون الجهد المؤثر فى حيود مرونة الصخر أو خارجها. وتنشأ هذه الجهود من الحركات التكتونية أو الموجات الصدمية (shock impact) والتى بدورها تحدث تغير دائما irreversible فى تركيب الجزيئات المغناطيسية المكونة للمواد. وهذا النوع من التمغنط هام جدا فى دراسة التكتونية المغناطيسية (Tectono magnetism).

7.11.2.4 التمغنط الحرارى مع ثبات درجة الحرارة (IRM) Isothermal Remanent Magnetization:

ينشأ هذا التمغنط فى الجسم والعينة من وجود مجال خارجى فى درجة حرارة معينة ثابتة وهو الجزئية البدائية من منحنى التخلف المغناطيسى ومن أمثلته فى الطبيعة المجال الهائل الناتج من الصواعق والذى يحدث تمغنط كبير (lightning remanence).

8.11.2.4 التمغنط اللزج (VRM) Viscuss Remanent Magnetization:

يحدث هذا التمغنط فى الطبيعة تدريجيا فى العينات أو الصخور مع مرور الزمن وفى وجود مجال خارجى ويكون معدل الزيادة فى هذا التمغنط لوغارتميا مع الزمن T أى أن

$$VRM = A \log T + \beta \quad (4\text{-}12)$$

حيث A, β ثوابت، β غالبا ما تكون مساوية لصفر وينتج هذا التمغنط من ترتيب بعض الجزيئات المغناطيسية فى إتجاه المجال الخارجى نتيجة للتهيج الحرارى (thermal agitation) أى نتيجة لإعطاء طاقة لهذه الجزيئات فتتهيج ثم تترتب فى إتجاه المجال السائد عندما تبرد. تتغير درجة الحرارة فقط فى حدود تغير درجة حرارة الجو أو الغرفة أو درجة الحرارة التى تكون قدتعرضت لها الصخور أثناء عمرها الجيولوجى. هذا النوع من التمغنط (VRM) مهم جدا إذ أنه يحتوى على تاريخ المجال المغناطيسى الأرضى منذ تكون الصخر وتمغنطه إما حرارى أو رسوبى. ويكون له طبعات مغناطيسية (overprints). وهذا التمغنط أيضا غير ثابت ويسهل إزالته عند إجراء القياسات الباليومغناطيسية.

9.11.2.4 التمغنط نتيجة لإثارة التيار المتردد Anhyateretic Remanent Magnetization (ARM):

هذا النوع من التمغنط يتم فى المعمل فقط. ويحدث إذا وضعنا عينة من الصخور فى مجالين مغناطيسين خارجين أحدهما متردد ((Alternating Field (AF) وهذا الجهد عالى يصل لحوالى 0.2 تسلا ينتج من تيار متردد فى ملف والآخر مجال مستمر (Direct Field (DF ينتج من تيار مستمر فى ملف أو من مغناطيس قوى. والمجال المتردد يتناقص إلى الصفر بينما المجال المستمر ثابت. وعليه يعمل المجال المتردد على إثارة الجزيئات المغناطيسية مدمر التراص الأصلى للعزوم المغناطيسية ويتناقص تدريجيا إلى الصفر. بينما يعمل المجال المستمر على تراص هذه الجزيئات المغناطيسية فى إتجاهه فتكتسب العينات بذلك تمغنطا قويا باقيا. وهذا التمغنط يستخدم أحيانا فى تجارب تعيين شدة التمغنط القديم فى عينات الصخور الأثرية.

10.11.2.4 التمغنط البكتيرى أو الحيوى Biological, or Bacterial Magnetization (BM):

توجد أنواع من البكتريا تعيش عند الحد الفاصل بين الماء والطين فى قاع البرك والمسطحات المائية. وهى بكتريا لاهوائية تقوم بجمع وبناء حبيبات الماجنيتيت فى داخلها فيما يشبه العقد. هذه الحبيبات المغناطيسية هى بلورات مكعبية صغيرة جدا فى حجم الحيز البلورى المغناطيسى المنفرد (single magnetic domain crystals ((sd)) أى أن هذه الحبيبات المغناطيسية تسلك سلوك السوبر بارامغناطيسية (super paramagnetics). وهذه البكتريا والتى تتفاعل مع المجال المغناطيسى الخارجى تسمى (magneto-tatic bacteria) وعند مشاهدتها تحت الميكروسكوب الضوئى أو الإلكترونى يلاحظ إندفاعها فى أسراب فى إتجاه المجال المغناطيسى الخارجى. وعند وضع مجالين مغناطيسيين متعامدين فإنها تدور حول خطوط القوى وتتحرك فى حركة حلزونية وفى هذه الحركة يكون سعة نصف قطر الدوران يتناسب مع شدة المجال العمودى. ومن خصائصها أنها تتحرك دائما فى إتجاه المجال المغناطيسى الخارجى فى أسراب تشبه أسراب الطيور المهاجرة. ولذلك يعتقد أن مثل هذه البكتريا لابد أن تكون موجودة فى مخ أو دماغ الطيور المهاجرة وأسراب الأسماك التى تسافر مسافات طويلة تزيد على آلاف الكيلومترات وتعمل هذه البكتريا كجهاز توجيه معتمدة على المجال المغناطيسى الأرضى.

11.11.2.4 تمغنط المواد الأثرية Archeomagnetism:

هو تمغنط باقى إما حرارى TRM أو رسوبى DRM ولكنه يستخدم فى دراسة عمر الآثار والتغير الحقيقى للمجال المغناطيسى الأرضى والتمغنط الحرارى ينتج من أن تكون هناك آثار محروقة مثل الطوب الأحمر والفخار أويكون في بركانيات حديثة تاريخية. أما النوع الرسوبى فيكون فى رسوبيات البرك وماشابهها.

12.11.2.4 التمغنط الكلى Total Magnetism:

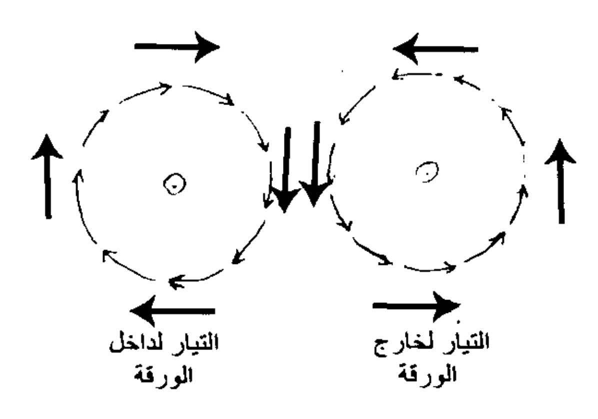
عند إجراء مسح مغناطيسى بقصد التنقيب فإن أى مادة منقب عنها يكون لها تمغنط كلى ناتج من جزئين رئيسيين هما التمغنط الباقى remanence magnetism كما فى (11.11.2.4) والتمغنط الحثى induced magnetization وهو التمغنط الموجود فى الصخور نتيجة لوجودها حاليا فى المجال الخارجى أى فى المجال المغناطيسى الأرضى أى أن تمغنط أى نوع من الصخور هو

$$\vec{J} = \vec{J}_i + \vec{J}_r \qquad (4\text{-}13)$$

حيث $J_i = HK$ هى القابلية المغناطيسية، H المجال الخارجى والنسبة بين التمغنط الباقى J_r والتمغنط الحثى J_i تسمى معامل كينجسبرجر ((Keenigsberger Factor (Q)) وهذه القيمة مهمة فى معرفة شكل التمغنط النهائى للصخور فى عملية التنقيب المغناطيسى وخصوصا إذا كان التمغنط الباقى سالبا أى عكس التمغنط الحثى. وهذا يعنى أن محصلة الجمع المتجهى للتمغنط الباقى والتمغنط الحثى تعطى فى النهاية قيمة وإتجاه التمغنط الكلى وبالتالى شكل وقيمة الشاذة الناتجة عن الجسم المنقب عنه. هذا التمغنط الحثى الناتج من المجال الخارجى يتغير مع تغير المجال الخارجى والذى يتحكم فيه منحنى التخلف Hysterasis curve.

13.11.2.4 الكهرمغناطيسية Electromagnetic:

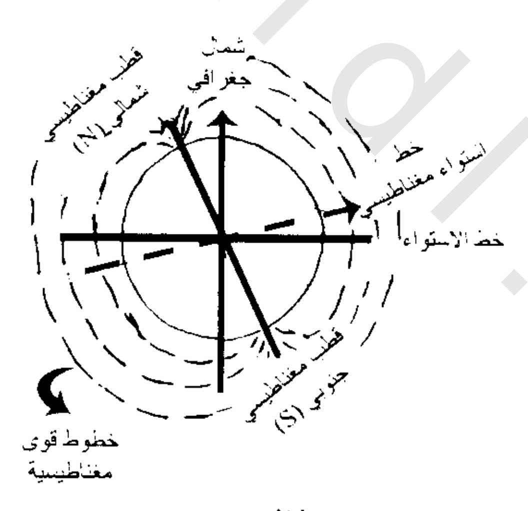
أى تيار كهربى يولد مجال مغناطيسى فىمستوى عمودى على التيار كما هو موضح بإتجاه إبرة البوصلة حول السلك شكل (4-6) فى هذا الشكل تشير الأسهم لإتجاه البوصلة حول سلك مستقيم (عمودى على الورقة) يحمل تيار ويدل هذا الشكل على أن التيار الكهربى ينتج مجال مغناطيسى له خطوط قوة دائرية ذات مركز فى السلك وتتناسب شدة المجال مع شدة التيار. أما فى حالة سلك طويل مستقيم فتتناسب شدة المجال المغناطيسى عكسيا مع المسافة من السلك ويكون هذا المبدأ مهم ليس فقط فى البحث والتنقيب المغناطيسى ولكن أيضا فى أساسيات تصنيع لبعض أجهزة المسح المعينة. ويمكن أيضاتفسير المجال المغناطيسى الأرضى على أساس التيارات الكهربية بداخلها.



شكل (4-6):

3.4 المغناطيسية الأرضية Earth's Magnetism:

المجال المغناطيسى الأرضى ضعيف جدا حتى إذا ما قورن بمغناطيس صغير جدا ولذا من الصعب تمثيله بالتجارب. وقد فرض ويليام جلبرت William Gilbert أن داخل الأرض يتكون من مواد مغناطيسية وأن خطوط القوى تقريبا تشبه النموذج المشار إليه ببرادة الحديد حول كرة حديدية منتظمة التمغنط شكل (4-7)، ومنذ هذا التفسير والمجال المغناطيسى الأرضى ممثل كما هو فى شكل (4-7) حيث يوضح الشكل أن المجال المغناطيسى على الأرض له خواص الكرة المغناطيسية المتجانسة. وأصبحت الخاصية المغناطيسية أو المغناطيسى الأرضى مهم كجزء من الجيوفيزياء.



شكل (4-7):

1.3.4 سبب المغناطيسية الأرضية Cause of Earthís Magnetism:

1.1.3.4 أولا: مصدر خارجى External Source:

برغم الحقيقة بأن المجال المغناطيسى الأرضى واحد من أقدم الظواهر الجيوفيزيائية. فقد فرض لفترة طويلة أن أصل المجال المغناطيسى الأرضى طبيعيا من الخارج ومن هذه الإفتراضات:

1.1.1.3.4 الغلاف الهوائى المتأين Ionic Atmosphere:

فرض لفترة طويلة أن أصل المجال المغناطيسى الأرضى نتج أساسا من الغلاف الهوائى المتأين ثم أصبح طبيعيا خارجا عنها وأصبح هذا الغلاف هو مصدر للمجال المغناطيسى الأرضى وذلك للتأين المستمر لهذا الغلاف وكذلك لسرعة دورانه حول الأرض، وإذا كان ذلك صحيحا فيتوقع أن شدة المجال المغناطيسى سوف تقل مع العمق وتزيد مع الإرتفاع عن سطح الأرض ولكن وجد أن هذا غير حقيقى*.

2.1.1.3.4 الشمس Sun:

أيضا فرض أن الشمس هى مصدر للمجال المغناطيسى الأرضى، وقد استدل على ذلك بالعواصف المغناطيسية والتى تنشأ من الإنفجارات داخل الشمس وتسبب العواصف المغناطيسية. وإذا كان هذا الفرض صحيحا فمن المتوقع أن تزيد المغناطيسية بالإرتفاع عن سطح الأرض وهذا غير حقيقى.

2.1.3.4 مصدر داخلى Internal Source:

ممكن توضيح أصل المجال المغناطيسى الأرضى فى ضوء الإفتراضين الآتيين:

1.2.1.3.4 فرض الفيرومغناطيسية (الحديدية المغناطيسية) Ferro Hypothesis:

1.1.2.1.3.4 القشرة Crust:

لأن أغلب الصخور السطحية للقشرة الأرضية لاتحتوى على معادن مغناطيسية (Fe_2O_3 & Fe_3O_4) فإن معدل كثافتها المغناطيسية صغيرة وأقل من أن تنتج المجال المغناطيسى وأكثر من هذا فإذا كان المجال الأرضى يرجع لوجود المعادن المغناطيسية الحديدية خلال القشرة الأرضية فإنه يتوقع أن المجال فى المساحات المحيطية يكون أكبر من الموجود على القارات وهذا غير حقيقى.

2.1.2.1.3.4 الستار Mantle:

من المعروف أن المعادن الحديدية المغناطيسية لها درجة حرارة حرجة (نقطة كورى 750^{o}) بعدها تفقد خواصها المغناطيسية ولايمكن تمغنطها وهذه الدرجة الحرارية موجودة عند عمق 25 كم بداخل الأرض. ولهذا عند الأعماق الكبيرة لايتوقع وجود للمواد المغناطيسية الحديدية.

3.1.2.1.3.4 لب الأرض Core:

ايضا لايكون لب الأرض مصدرا للمغناطيسية لوجوده فى صورة شبه صلدة وسائلة وذات درجة حرارة عالية جدا.

* المجال المغناطيسى أكبر مرتين عند الأقطاب (0.6 أورستد) من قيمتها عند خط الإستواء (0.3 أورستد) وهى تنقص بسرعة من البعد عن الأرض وعلى بعد حوالى مرتين ونصف قطر الأرض فإن شدة المجال 1/8 ما على سطح الأرض.

3.1.3.4 فرض نظرية التيارات Current Hypothesis:

1.3.1.3.4 فرض شحنات الغلاف الغازى Hypothesis of Charges of atmosphere:

إذا احتوى الغلاف الغازى للأرض توزيعات من الشحنات السالبة فى الأجزاء الخارجية له ومساو لها شحنات موجبة على العمق فى داخله فسينتج مجال مغناطيسى بواسطة حركة الشحنات كنتيجة لدوران الأرض حول محورها. ولكن فى هذه الحالة فإن الشحنات الكهربية يجب أن تكون كبيرة لكى تنتج معدل جهد رأسى والذى يكون كبير جدا عن الموجود والملاحظ بالغلاف الغازى.

2.3.1.3.4 فرض نظرية دينامو الموانع Hydrodynamo Hypothesis:

فى عام 1958 اقترح Elsasser أن المجال الأرضى ينتج بواسطة دينامو فى داخل اللب ولقى هذا كثيرا من التأثيرات. وأدى نموذج توزيع المجال بأربع شدات عظمى (اثنين عند الأقطاب وإثنين عند أطراف خط الإستواء) لاقتراح بديهى بإمكانية نظام الإزدواج لديناموين للمغناطيسية الأرضية. ومازالت الضوابط الطبيعية وتفاصيل القوى التى تقود الدينامو غير معروفة. وعلى العموم فإن أى نتيجة تبد تأكيدا بأن ميكانيكية تحرك اللب بسبب حركة السائل داخلة وبسبب دوران الأرض. ولذا اقتراح أربع مصادر للطاقة والتى تحفظ اللب السائل فى حركة دوارة وتجعل المساند التحليلية كافية لدوام الحركة ذاتيا والحركة العكسية الذاتية الديناموييه وهذه المصادر هى:

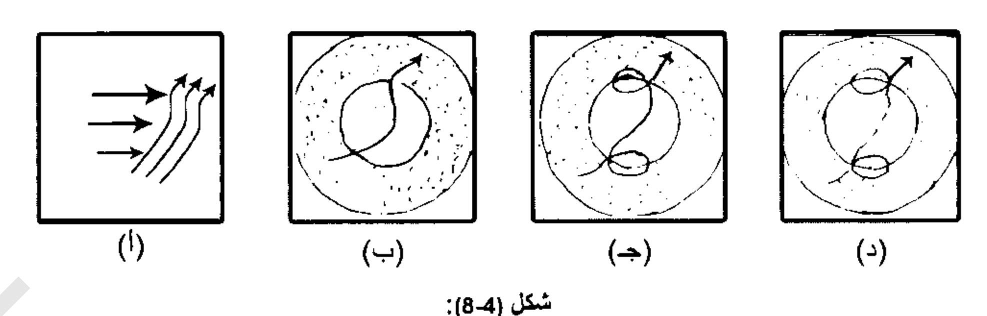
(i) ربما مازال اللب الداخلى الصلب للأرض يكبر وتنطلق الحرارة الكافية فى عملية تحول السائل للصلب ومن الممكن أن يبرهن هذا على أن الطاقة الناتجة هى التى تحافظ على حركة السائل.

(ii) التجمد المستمر لسائل الحديد على الحافة الداخلية والخارجية للب السائل تسبب حركة المكونات الثقيلة باتجاه الداخل والسوائل المتبقية الخفيفة تتحرك للخارج.

(iii) ربما لاتكون المواد السائلة للنواة قادرة لتتبع الحركة السابقة للأرض فى مدارها وينتج من ذلك تأخر حركتها مسببة تأثير حركى بواسطة الإحتكاك بين الستار والجز الخارجى للنواة.

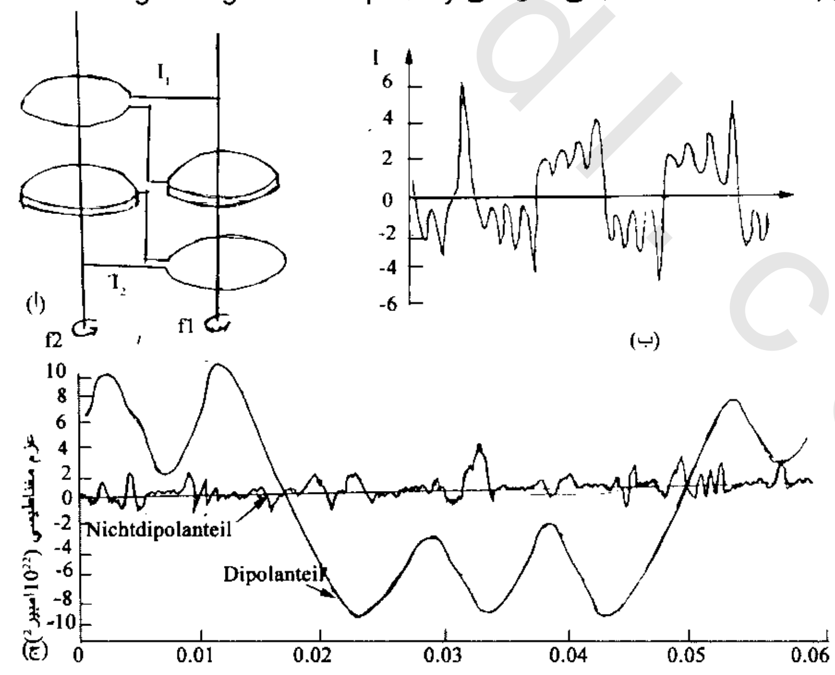
(iv) تنتج التيارات والخضخضة للجزء السائل من النواة من حرارة إشعاعية ، هذه الحرارة إما ناتجة عن إتجاه قطع من الستار الصلب للنواة أو أكثر إحتمالا بواسطة المواد المشعة فى الجزء الداخلى للنواة.

مما سبق يتضح أنه بسبب فرق درجة الحرارة بين الجزء الداخلى من النواة والخارجى منها كبير جدا وكلاهما مختلف فى التركيب المعدنى لذلك ينتج تيار كهربى قوى مثل الذى ينتج من المزدوج الحرارى thermocouple ويسرى هذا التيار حول الجزء الداخلى الصلب من النواة وينتج عنه مجال مغناطيسى عمودى على مستواه وهذا المجال هو أصل المجال المغناطيسى الأرضى. وبزيادة معدل إنتاج الكهربى (الأسهم الأفقية) شكل (4-8أ) عن معدل سريان المجال المغناطيسى (diffusivity والأسهم الرأسية) فتتكاثف بذلك خطوط قوى المجال المغناطيسى الأرضى ثم نتيجة إختلاف سرعة دوران الباطن الصلب عن سرعة اللب السائل تلتوى خطوط المجال المغناطيسى ويصير لها مركبات عمودية وعكسية تجعل المجال الكلى يتناقص ويمكن أن تحدث المركبات العكسية انقلاب مغناطيسى.



شكل (4-8):

ونتيجة لالتواء خطوط المجال المغناطيسى تتكاثف فى مكان ما عنها فى آخر ويتشوه الجزء العلوى من الفيض كما فى شكل (4-8ب) وتتكون حلقات علوية كما فى شكل (4-8جـ) وباستمرار دوران لب الأرض تعزل هذه الحلقات العلوية جزئيا شكل (4-8د) وبمجرد بناء وتهدم الحلقات العلوية يتولد مجال كهربى والذى بدوره ينتج مجال مغناطيسى مما يسبب أن المجال يصبح ثنائى القطب. وقد تلتوى الخطوط وتعود فتصبح حلزونى القطب وينشأ أحيانا مجالا غير ثنائى (non-dipole) ويحدث تغير حقبيا غير منتظم الدورة هذا بالإضافة إلى أن بعض العلماء أوضحوا أن المجال المغناطيسى المنتج ينتج بالتالى مجال آخر يسمى ثنائى الدينامو (Two interconnected dynamics) حيث وضح هذا تجربة لويس وولكنسون Lowes and Wilkinson 1968 وذلك بدوران اسطوانتين فى زئبق أحدهما علوية والأخرى سفلية (يمثلان دينامويين) وأن المجال المغناطيسى الناتج عنهما يمثل ما يمكن أن يحدث فى لب الأرض وسوف يستمر بذلك الدينامو الأرضى بالعمل وينتج المجال المغناطيسى الأرضى بذاته. وقد وضح كوكس Cox 1968 أن التيارين الناشئين عن كلا الدينامو الأول والثانى يمكن أن يكونا متضادين فى الإتجاه شكل (4-9) بحيث أن مجموعهما يتكون من جزئين أحدهما يتبع مجال ثنائى القطب dipole field والآخر له سلوك آخر non-dipole field وعندما يزيد الجزء الثانى كثيرا عن الجزء الأول يحدث انقلاب فى إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى reversal of geomagnetic field polarity.



شكل (4-9): أ) ثنائى الدينامو وكيف يغذى الآخر، ب) مجموع التيارين الكهربيين الناتجين منهما وكيف يكونا متضادين فى بعض الأحيان، جـ) يتسبب زيادة الجزء الغير ثنائى القطب عن الجزء الثنائى فى حدوث الإنقلاب فى إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى (سوفل Soffil 1991)

2.3.4 عناصر المجال المغناطيسى الأرضى Elements of Earthís Magnetism:

يختلف شدة وإتجاه المجال المغناطيسى الأرضى على سطح الكرة الأرضية من نقطة إلى أخرى. لذلك إذا وضعت إبرة مغناطيسية حرة فإنها توجه نفسها حول نقطة عند مركزها إلى وضع فى الفراغ محدد بواسطة إتجاه المغناطيس الأرضى الكلى (total magnetic field F) عند هذه النقطة.

1.2.3.4 العلاقة بين عناصر المجال المغناطيسى

Relation Between Elements of Earthís Magnetism:

$H = F \cos I$ (4-14a) & $V = F \sin I$ (4-14b)

$\therefore V = H \tan I$ (4-15a) & $I = \tan^{-1} V/H$ (5-15b)

& $X = H \cos D = F \cos I \cos D$ (4-16)

& $Y = H \sin D = F \cos I \sin D$ (4-17)

& $X^2 + Y^2 = H^2$ (4-18)

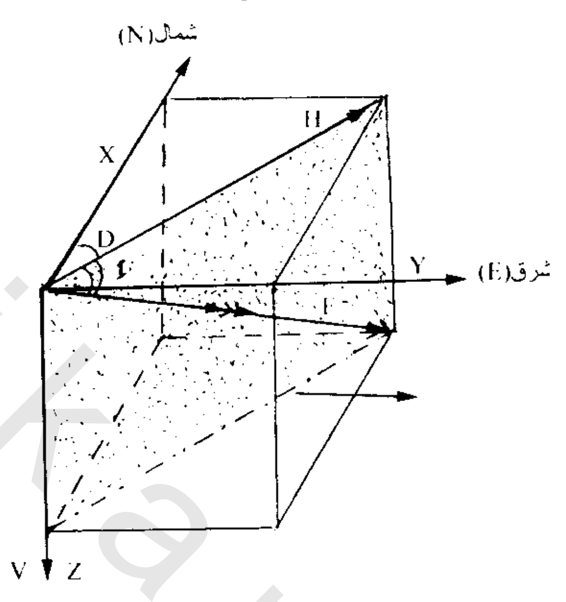
$\therefore X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + V^2 = F^2$ (4-19)

مركبات المجال المغناطيسى شكل (4-10) X , Y, Z, H, I, D يمكن حسابها بمعرفة ثلاثة مركبات فقط باستخدام المعادلات السابقة ، فمثلا فى مرصد المسلات بمصر تقاس المركبة الأفقية H، والرأسية Z وزاوية الإنحراف D. وتوجد مراكز دولية لتجميع بيانات القياسات من المراصد المختلفة للعالم وبها يدرس المجال المغناطيسى الأرضى وتغيراته واختلافاته وتوزيعه بحيث يعطى صورة متكاملة عن سلوك هذا الجزء من فيزياء الأرض، ويتم كل مدة زمنية رسم خرائط توزيع شدة المجال المغناطيسى (F) وكذلك توزيع شدة المركبة الأفقية H وتوزيع شدة المركبة الرأسية (V) وتوزيع زاوية الإنحراف D وتوزيع زاوية الميل I.

جمعت نتائج المغناطيسية من المراصد وعبر عشرات السنين فى جميع أنحاء العالم، ومن تحليل هذه النتائج المجمعة على خرائط عالمية وجد أن عزم ثنائى القطب والذى يعد أحسن ملائمة للمجال الحقيقى الأرضى يكون تقريبا (8.10^{25} e.m.u) $8x10^{22}$ Am^2 بميل محورى حوالى 11.5° مع المحور الجغرافى شكل (4-11) بشدة مغناطيسية أفقية H تقريبا $30{,}000\ \gamma = 30\ \mu T$ عند خط الإستواء المغناطيسى وشدة مغناطيسية راسية Z تقريبا $60{,}000\ \gamma = 60\ \mu T$ ٦٠ عند كل قطب مغناطيسى للأرض.

ويتطلب تحديد الأقطاب المغناطيسية بعض الحذر. فمحور ثنائى القطب المركزى يقطع سطح الأرض عند نقطتين تشيران للأقطاب المغناطيسية الأرضية شكل (4-11) هذان القطبان يقعان تقريبا عند °78.8N, °71E (شمال غرب جرينلاند) 9°E, 78.8°S (فى أنتركتيكا). ومن جهة أخرى فهناك نقطتين اساسيتين على سطح الأرض حيث المجال المغناطيسى عندها يتجه رأسيا لأسفل (I = °90, H = °0) تسميان (أقطاب الميل Dip poles أو أقطاب الإنغماس). يقع هاتين القطبين تقريبا عند °76N, °101W , °66S, °141. ولايوجد مقابل لقطب ولكن تقريبا يظل تابع له، وقطب ثنائى اختلاف المركز يقع على بعد 300 كم من مركز الأرض.

وقد غطت بكثرة فائقة قياسات الأقمار الصناعية للمجال المغناطيسى الكلى أو لمركباته H ,Z للكرة الأرضية وحسنت بذلك نوعية النتائج المستخدمة لتحليل المجال الأرضى. ويسمى القبول الواسع المثالى للإمداد الملائم الخاص بالمجال المغناطيسى الأرضى بمرجع المجال المغناطيسى العالمى ìInternational Geomagnetic Reference Field (IGRE)î وهذا يصحح كل خمس سنوات.



شكل (4-10): عناصر المغناطيسية الأرضية. F = المجال الكلى ، H* = المركبة الأفقية (تحلل إلى Y, X) ، V = المركبة الرأسية (إتجاه Z) ، D = زاوية الإنحراف (بين الزوال المغناطيسى والإتجاه الشمالى الجغرافى) ، I*** = زاوية الميل المغناطيسى (بين H & F) ، = مستوى الزوال المغناطيسى Mag.**

ملحوظة: المستوى الرأسى بين H & F يسمى الزوال المغناطيسى المحلى ، بينما المستوى XZ يكون الزوال الجغرافى

2.2.3.4 ميل المجال المغناطيسى الأرضى Inclination of the Geomagnetic Field:

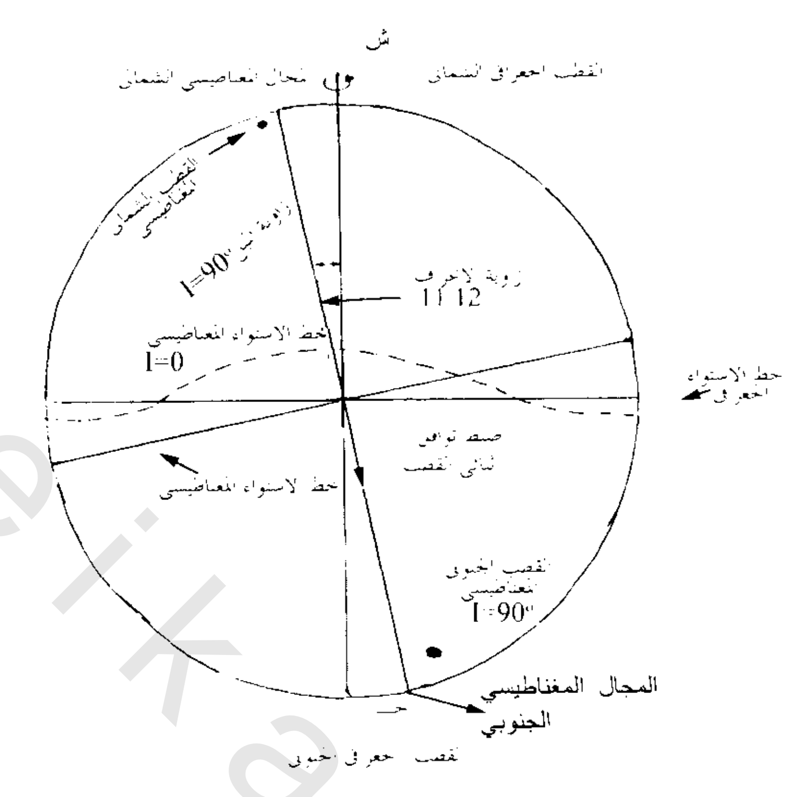
كتقريب أولى فإن المجال المغناطيسى الأرضى يمثل بواسطة قطب ثنائى عند مركز الأرض متجه للقطب الجنوبى الجغرافى ويسمى قطب ثنائى المركز الأرضى geocentric dipole.

ويعطى المجال الموجود على سطح الأرض بواسطة الجزء الأول من تمثيل التوافق الكروى للمجال الأرضى المستمر فى أجزاء عن خطوط الطول والعرض الجغرافية. شكل (4-12) يوضح إمكانية الحصول على المجال المغناطيسى الكلى F عند نقطة من خط العرض λ على سطح الأرض وذلك من مجموع المتجهات لمركبات الشمال X والرأسية Z والممكن الحصول عليها من التفاضل السالب للمعادلة

$$U(P) = \vec{M}\frac{\cos\theta}{r^2} \qquad (4\text{-}20)$$

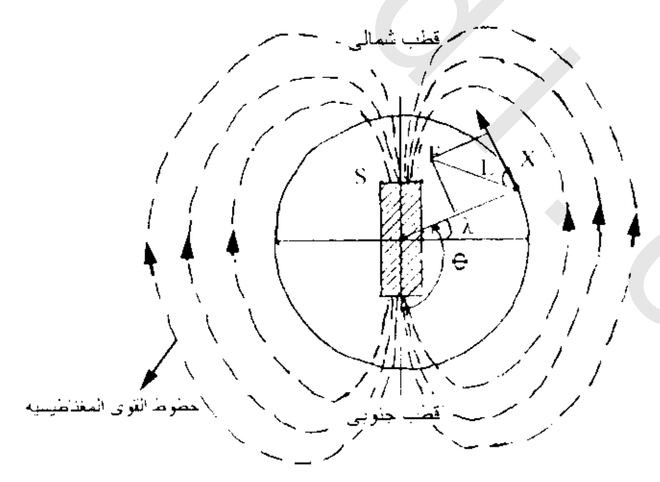
حيث P = المجال، M = العزم المغناطيسى، θ = الزاوية بين العزم المغناطيسى ونصف القطر r.

* تأخذ المركبة الأفقية على سطح الأرض الإتجاه من الجنوب للشمال.
** تكون المركبة الرأسية موجبة (+) لأسفل (سالبة (-) لأعلى.
*** إشارة زاوية الميل تتبع إشارة المركبة الرأسية (موجبه لأسفل وسالبة لأعلى).



شكل (4-11): الإنحراف بين المغناطيسية والمجال المغناطيسى والأقطاب الجغرافية (McElhinny 1973).

ملحوظة: القطب المغناطيسى الجنوبى يقع حول الشمال الجغرافى لذلك يجذب المؤشر الشمالى لإبرة البوصلة. وعرفيا فإن المجال المغناطيسى عند (I=±90°) حول الشمال الجغرافى يشار إليه كقطب شمالى مغناطيسى، والتى حول الجنوب الجغرافى يشار إليه كقطب جنوبى مغناطيسى.



شكل (4-12): ميل المجال المغناطيسى لقطب ثنائى المركز الأرضى

$$\tan i = 2 \tan \lambda = 90° + \lambda$$

مع إعتبار أن المسافة الشمالية $r, rd\theta$ تتجه لأسفل وعلاقة خط العرض مع θ بواسطة $(90+\lambda)$ لذلك فإن $\cos \theta = -\sin \lambda$. أيضا فإن إتجاه الشمال عكس ثنائى القطب المغناطيسى وللمحافظة على هذه الإتجاهات فى خطوط مستقيمة فإن إتجاه الشمال يكون

$$X = -\frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{\vec{M}}{r^3}\cos\lambda \qquad (4\text{-}21)$$

والمركبة الرأسية

$$Z = -\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{2\vec{M}}{r^3}\sin\lambda \qquad (4\text{-}22)$$

من هاتين المعادلتين يلاحظ أن قوة المجال المغناطيسى الأرضى يكون عند الأقطاب ضعف ما عند خط الإستواء. ومن قيمة المجال المغناطيسى الأرضى الملاحظ عند خط الإستواء والذى قيمته 0.3 جاوس فيمكن حساب القيمة الصورية لمركز ثنائى القطب الأرضى وهى حوالى $8x10^{25}$ سم جم.ث.

ملحوظة: جميع النقط على سطح الأرض والتى عندها المجال الكلى الأرضى يتجه رأسيا لأسفل (I = 90°) أو لأعلى (I = -90°) تسمى أقطاب الميل المغناطيسى. وللأرض قطبى ميل أساسين، الشمالى موجود فى جزر بافن Baffin فى نصف الكرة الأرضية الشمالى والجنوبى فى أنتاركيتكا Antarctica فى نصف الكرة الجنوبى.

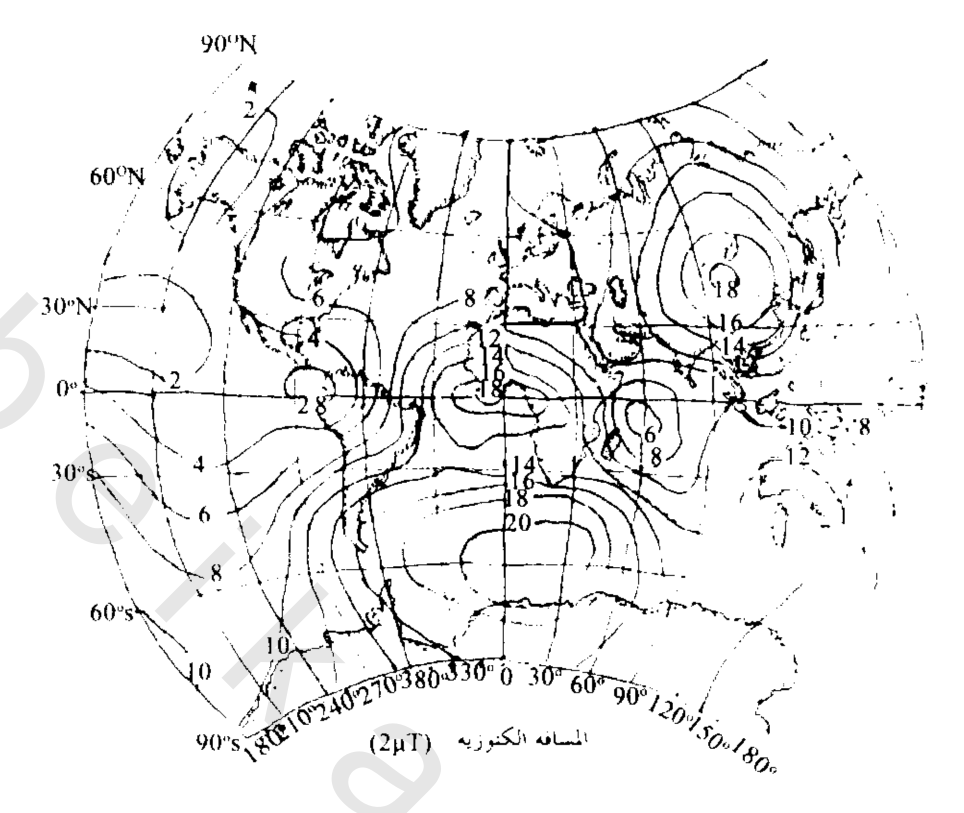
3.2.3.4 مجال عدم ثنائى القطب Nondipole Field:

برغم أن مجال ثنائى المركز (يميل 11.5° عن المحور الجغرافى) مقارب للمجال الحقيقى الأرضى فإنه يوجد إنحراف بينهم يجب مراعاته لذا فعند طرح مجال ثنائى القطب من المجال الملاحظ (المجال الحقيقى الأرضى) ينتج ما يسمى مجال عدم ثنائى القطب.

يوضح شكل (4-13) الشدة الكلية لمجال عدم ثنائى القطب عبر سطح الأرض. ومن أهم ظواهر هذه الخريطة هو أن لها شذوذ مقياسى واسع ممتد عدة آلاف من الكيلومترات بسعة تصل μT 20 (حوالى 30% من المجال الكلى الأرضى). وهذا المقياس الواسع لايرى أى علاقة واضحة بين الجغرافيا أوالجيولوجيا. وغالبا ما يرجع هذا المجال لمصادر عميقة داخل الأرض. والذى يظهر بواسطة مجالات من 8-12 ثنائى أقطاب متشعبة السائل. هذا المجال مهم للإشارة بأن ثنائى القطب المغناطيسى يستخدم كتقريب للتيار الكهربى فى قلب الأرض والذى يكون الرأى لإنتاج المجال الأرضى الأساسى ونظرية الدينامو.

يوجد أيضا عدة مجالات محلية لعدم ثنائى القطب والتى لم تظهر على الخريطة شكل (4-13) سعتها حوالى μT 95 (أهمها عند كورسك Kursk جنوب موسكو) وأصل هذه الشواذ يرجع لتباين المغنطة المحلية فى صخور القشرة الأرضية (ربما للحث المغناطيسى أوالمغناطيسية المتبقية أو كلاهما) وهى مغناطيسية سفلى لعمق حوالى 25-30 كم حيث تصل إلى درجة تساوى درجة حرارة نقطة كورى*.

* درجة حرارة نقطة كورى هى 750° وعندها تزال المغناطيسية.



شكل (4-13): الشدة الكلية لمجال غير مزدوج 1980 (بيدى Peddie 1982)

4.4 تغيرات المجال المغناطيسى الأرضى Geomagnetic Field Variation:

يوجد نوعين من هذه التغيرات:

1.4.4 أولا: بالنسبة للمكان: (Variation with Position (Latitude and Longitude Variation

يرتبط هذا التغير بالتغير فى عناصر المجال المغناطيسى، فتكون الشدة الرأسية قيمتها صفر عند خط الإستواء المغناطيسى* بينما تصل إلى أقصى قيمة لها حوالى 0.6 جاوس (أورستد) عند الأقطاب المغناطيسية للأرض. وعلى العكس فإن الشدة الأفقية تقل من أقصى قيمة لها 0.3 جاوس (أورستد) عند خط الإستواء المغناطيسى إلى الصفر عند الأقطاب المغناطيسية.

أما زاوية الميل المغناطيسى فتساوى تقريبا صفر عند خط الإستواء وتزداد حياديا فى إتجاه الشمال أوالجنوب لتصل لقيمة مقدارها 90° عند الأقطاب المغناطيسية. جميع الخطوط المارة بجميع النقط على سطح الأرض والتى لها نفس زاوية الميل تسمى خطوط كنتور تساوى الميل isoclinic contour lines**.

تتغير زاوية الإنحراف المغناطيسى من إتجاه الشرق للغرب وتسمى الخطوط المارة خلال النقط التى لها نفس قيمة زاوية الإنحراف بخطوط الأزوجونال isogonal liens.

* خط تصورى يسير بالقرب من خط الإستواء ولكن غير موازى له.
** خط الأستواء المغناطيسى هو خط تساوى الميل لقيمة مقدارها 0°.

2.4.4 ثانيا: تغير مع الزمن Variation with Time:

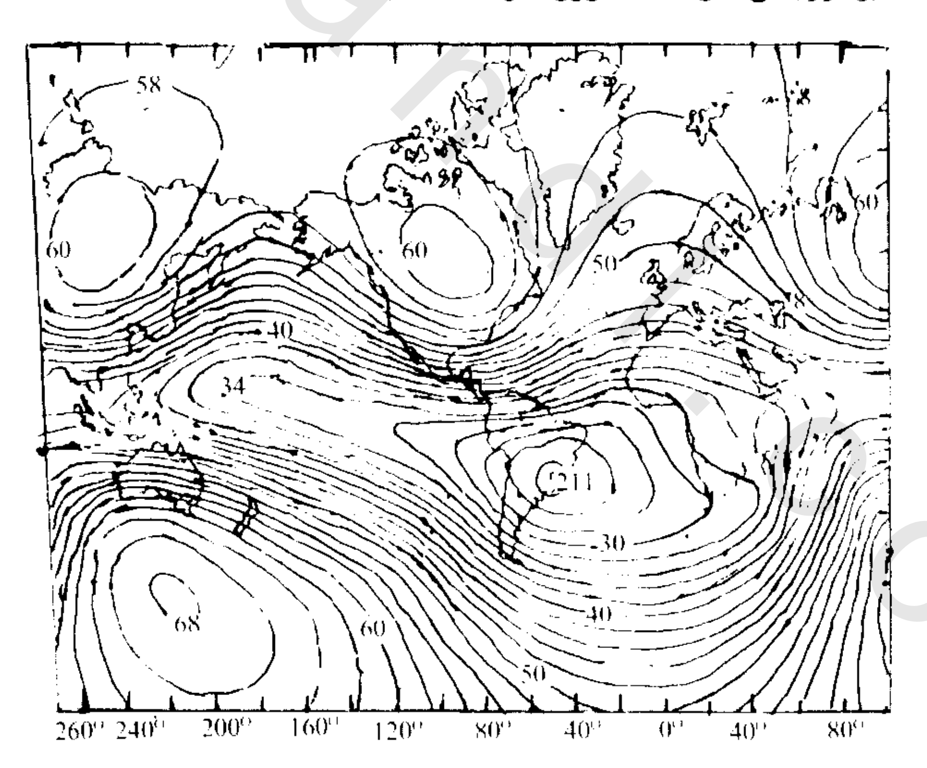
1.2.4.4 تغيرات على فترات طويلة Long-Period Changes:

تحدث هذه التغيرات فى الجزء الكبير الرئيسى من المجال المغناطيسى للأرض وهوالجزء الداخلى.

1.1.2.4.4 تغير حقبى Secular Changes:

يأخذ هذا التغير شكل إنحراف للمجال المغناطيسى الأرضى بسبب التغير التدريجى لكل من الإنحراف والميل عند محطات قياس المغناطيسية الأرضية. مثل هذا التغير يتم لكل عشرات من السنين وكذلك القرون. وتسجل غالبا هذه النتائج على خرائط أيزوبورك Isoporic maps*. وينتج هذا التغير أساسا من المجال المغناطيسى الإضافى بواسطة الحركة التفاوتية** داخل سائل قلب الأرض نفسه وبين قلب الأرض والستار الذى يعلوه، ويقاس هذا التغير بعدة طرق:

1.1.1.2.4.4 تكرار قياس المركبات المختلفة للمجال المغناطيسى الأرضى فى نقطة ما يمر أزمنة طويلة والتغير المنتظم فى القيم المطلقة لهذه المركبات هو التغير الحقبى وقياس هذا التغير عبر أزمنة وأماكن مختلفة تنتج خرائط أيزوبورك، ويوضح شكل (4-14) معدل المجال الكلى حول العالم 1965 ويلاحظ مساحة التغير الأعظم فى المحيط الجنوبى. ويوضح شكل (4-15) أن الإنحراف والميل قد تغير دوريا فى لندن خلال القرون الأربعة الماضية.

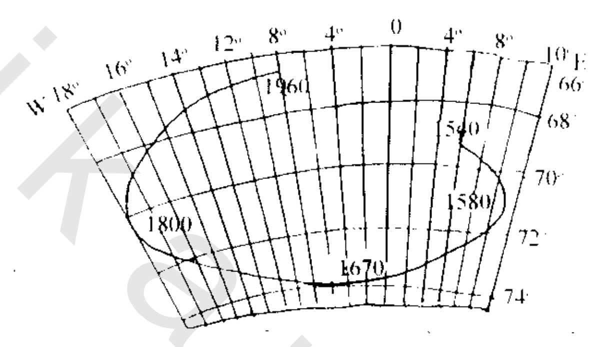


شكل (4-14) الشدة المغناطيسية الكلية عبر الأرض فى عام 1965. الكنتور بالألف جاما.

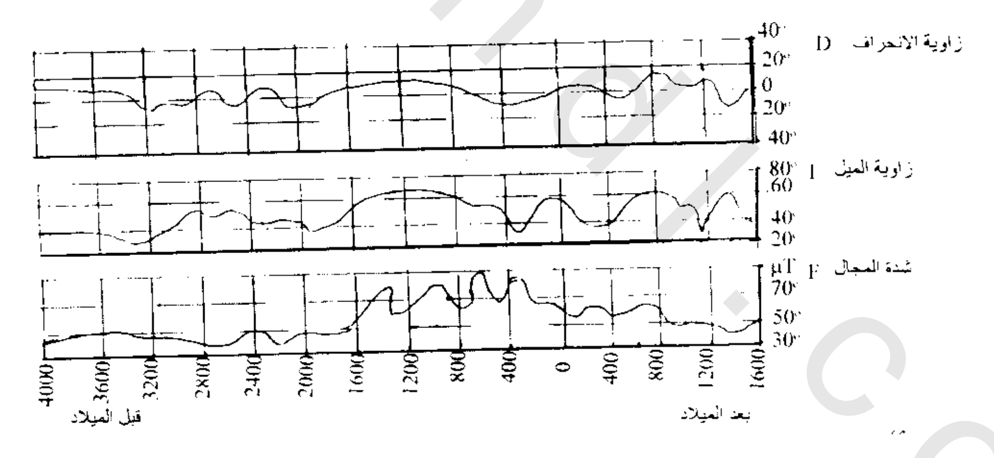
* خط أيزوبورك هو خط تساوى التغير السنوى للمغناطيسية (المجال الكلى، زاوية الإنحراف، زاوية الميل).

** تنتج الحركة فى قلب الأرض من تيارات الحمل الناتجة من التدرج الحرارى فى داخل قلب الأرض. وحيث أن الجزيئات أكثر تأثيرا على تيارات الحمل فإن الجزيئات ذات العزم الزاوى الكبير تتحرك فى إتجاه الداخل بينما جزيئات العزم الزاوى الصغير تتحرك للخارج. ونتيجة لذلك فإن الجزء الخارجى للوضع يوضح انخفاض سرعة، بينما الجزء الداخلى يشير لارتفاع سرعة.

2.1.1.2.4.4 يقاس هذا التغير أيضا بإستخدام تمغنط المواد الأثرية (Archaeo-magnetic data) وهذه البيانات تغطى أزمنة طويلة أقدم كثيرا من الأرصاد المغناطيسية فى المراصد الجيوفيزيقية حيث أن المواد الأثرية والرسوبيات والبركانيات صنعت وحرقت وتكونت فى وجود المجال المغناطيسى الأرضى، والذى كان موجودا أثناء تكوينها وبالتالى اكتسبت تمغنطا تساوى فى الإتجاه ويتناسب فى الشدة مع المجال المغناطيسى الأرضى الموجود وقت تكون هذه المواد وهذا التمغنط يسمى الحفرية المغناطيسية Magnetic fossil وبه يمكن قياس شدة المجال الأرضى القديم. شكل (4-16) يوضح التغير الحقبى للمجال المغناطيسى الأرضى بمصر عند خط عرض (28N°) مأخوذ من قياسات شدة المجال (F)، زاوية الميل (I) وزاوية الإنحراف (D) إستخدام عينات أثرية حيث تظهر المنحنيات أن التغير الحقبى له دورة كل 400 سنة ومضاعفاتها.



شكل (4-15): التغيرات فى الإنحراف والميل فى لندن منذ عام 1580

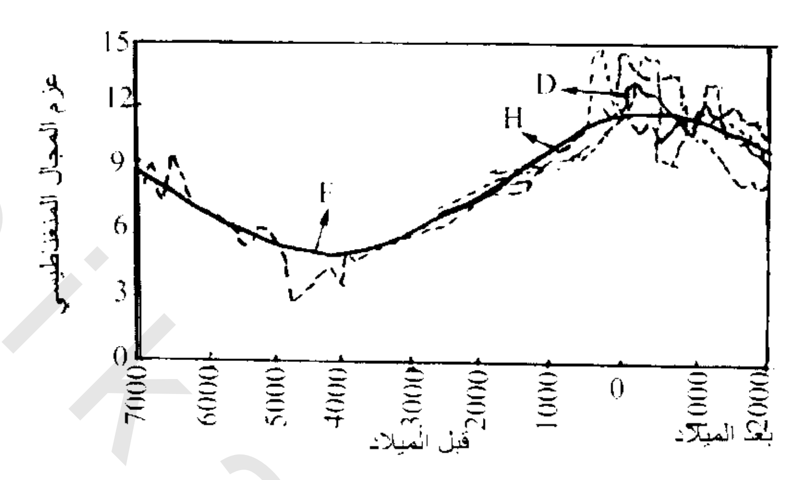


شكل (4-16): التغير الحقبى فى إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى زاوية الإنحراف (D) ، وزاوية الميل (I) وشدته (F) فى مصر عند خط عرض متوسط (38° شمالا) خلال الستة الاف سنة الماضية مأخوذة من دراسة التمغنط الأثرى (Hussuin, 1987) (Archaromagnetism)

3.1.1.2.4.4 طريقة حساب عزم المجال المغناطيسى للكرة الأرضية (شدة المجال المغناطيسى* × حجم الكرة الأرضية). يبين شكل (4-17) التغير الحقبى للأرض خلال 9 ألاف سنة ماضية. ومن هذا الشكل نجد أن المجال المغناطيسى الأرضى كان نهاية صغرى عند 4500 سنة قبل الميلاد. ونهاية عظمى عند سنة 200 ميلادية وأن التغير الحقبى له دورة طويلة طولها 9400 سنة ميلادية.

* شدة المجال المغناطيسى يحصل عليها من بيانات التغير الحقبى للأجهزة instrumental data وبيانات المغناطيسية الأثرية Araeo-magnetic data.

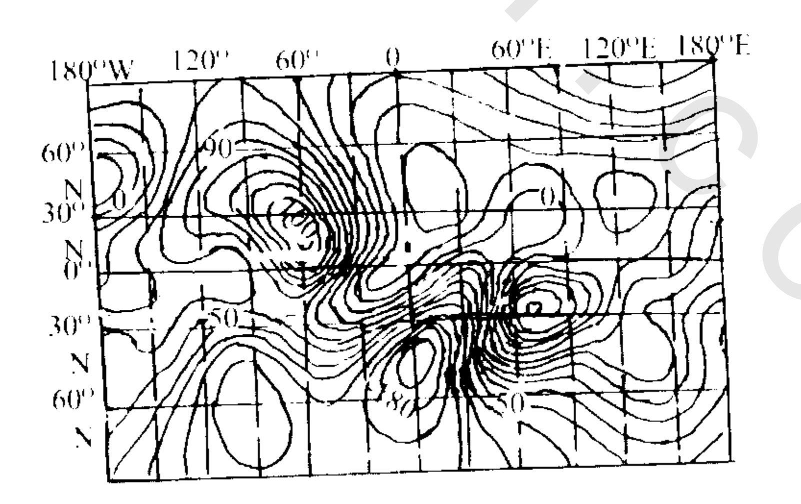
4.1.1.2.4.4 إستخدام التحليل الهارمونى الكرى مع الإستفادة من البيانات المقاسة. يتم هذا لتغطية المناطق الشاسعة من الكرة الأرضية مثل المحيطات والصحراء والتى لاتجرى فيها قياسات مغناطيسية متكررة. والشكل (4-18) يبين خريطة كونتورية للتغير الحقبى فى المركبة الرأسية للمجال المغناطيسى الأرضى للحقبة ما بين 1942، 1995.



شكل (4-17): التغير الحقبى فى عزم المجال المغناطيسى الأرضى (محور الصادات القيم المعطاه $x10^{22}$ بير.متر^2) خلال التسعة آلاف سنة الماضية، إستخدمت البيانات المتوفرة لقيم شدة المجال المغناطيسى الأرضى (F) مأخوذة من دراسة مغناطيسية الآثار ومضروبة x حجم الأرض (V) (العزم المغناطيسى = F.V) (بيوشا Bucha 1970)

2.1.2.4.4 الإنقلاب فى إتجاه الشمال Magnetic Polarity Reversals:

يغير المجال المغناطيسى الأرضى إتجاهه عبر الأعمار الجيولوجية المتتابعة أى قد مرت فترات طويلة على إمتداد العمود الجيولوجى كان إتجاه المجال عكس إتجاهه الحال. ويتم دراسة ذلك بالطرق الآتية:



شكل (4-18): توزيع التغير الحقبى (نانوتسلا/سنة) ما بين 1942, 1995. المسافة الكنتورية 1000 نانوتسلا (بلا كلى Blakely 1995)

1.2.1.2.4.4 قياس إتجاه التمغنط فى عينات صخرية:

تكتسب الصخور الرسوبية تمغنطا له إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى أثناء ترسبها ويسمى ذلك بالتمغنط الرسوبى الباقى Deposition Remanent Magnetization (DRM)، وأيضا عندما تبرد الصخور البركانية من درجة حرارة الصهير إلى درجة حرارة الجو تكتسب تمغنطا له إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى الموجود فى وقت التبرد ويسمى هنا التمغنط Thermo-Remanent Magnetization (TRM). وبقياس إتجاه التمغنط فى عينات من طبقات الصخور الرسوبية والصخور النارية ممكن معرفة إتجاه المجال المغناطيسى وقت تكون هذه الصخور. وبمعرفة عمر الطبقات الرسوبية (باستخدام الحفريات والتتابع الرسوبى) يمكن معرفة إتجاه المجال المغناطيسى فى هذه الأعمار شكل (4-19) يوضح وضع تدرج (scale) للإنقلابات فى إتجاه المجال المغناطيسى الأرضى خلال الأعمار الجيولويجة المختلفة فيما يعرف بتدرج الأستقطاب المغناطيسى polarity scale) (geomagnetic time) ويستخدم هذا التدرج فى دراسات التتابع الرسوبى والمقارنة بين القطاعات الرسوبية ويسمى هذا الفرع من العلوم المجنتوستراتجرافى (magnetostratigraphy).

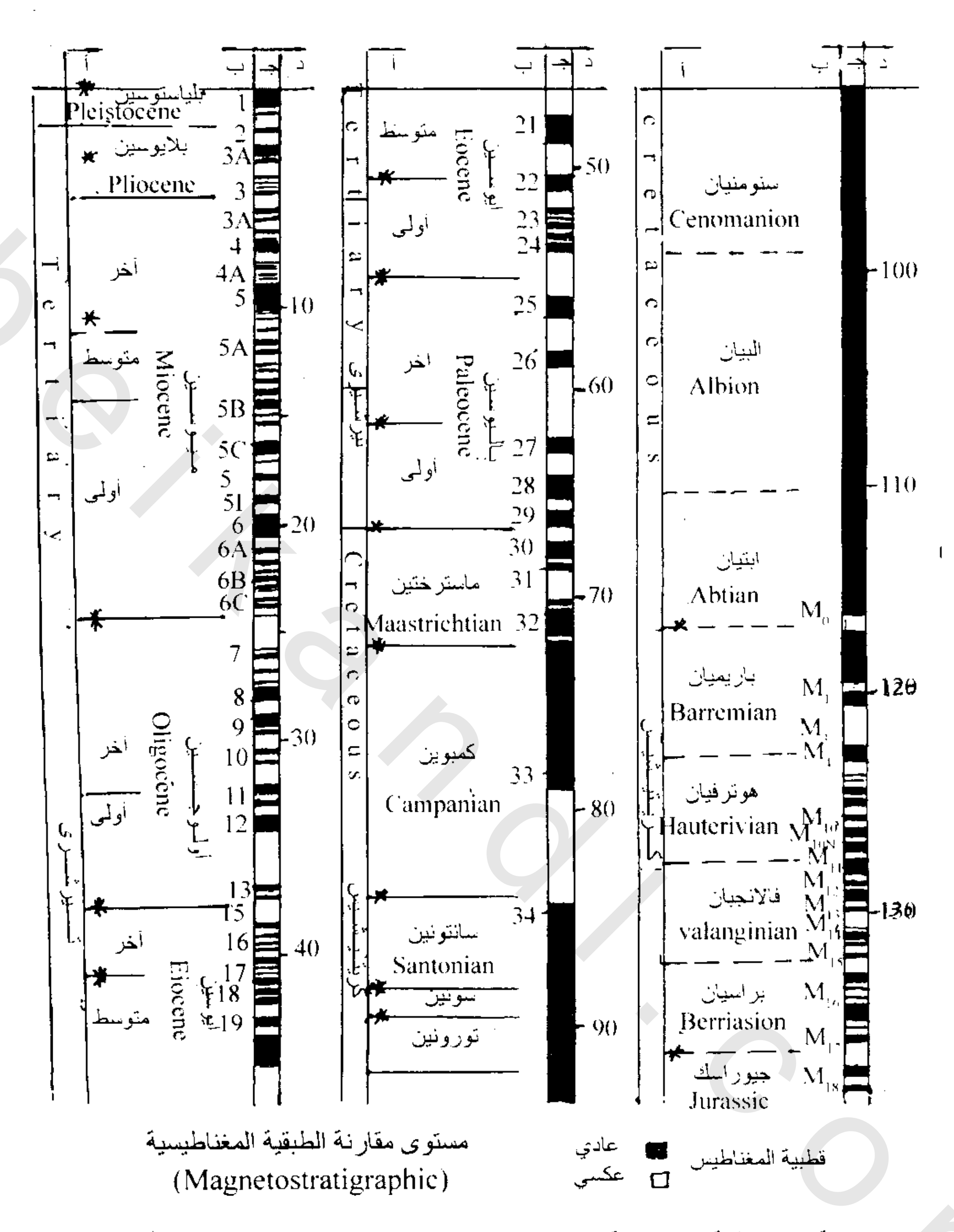
2.2.1.2.4.4 نظرية إنتشار قاع المحيط Sea Floor Spreading:

تنتج من حركة المسطحات مثل تباعد المسطح الإفريقى وسطح أمريكا الجنوبية وكذلك المسطح العربى والمسطح النوبى فى أفريقيا وتتكون بذلك القشرة المحيطية حيث أن إنتشار المحيط يعنى خروج بركانيات فى وسط البحر أو المحيط ثم يتسع البحر وتخرج بركانيات أخرى وسط البركانيات الأولى وهكذا وبالتالى ينتج تتابع من البركانيات ذات الأعمار المتتابعة أحدثها فى الوسط وأقدمها على الجانبين.

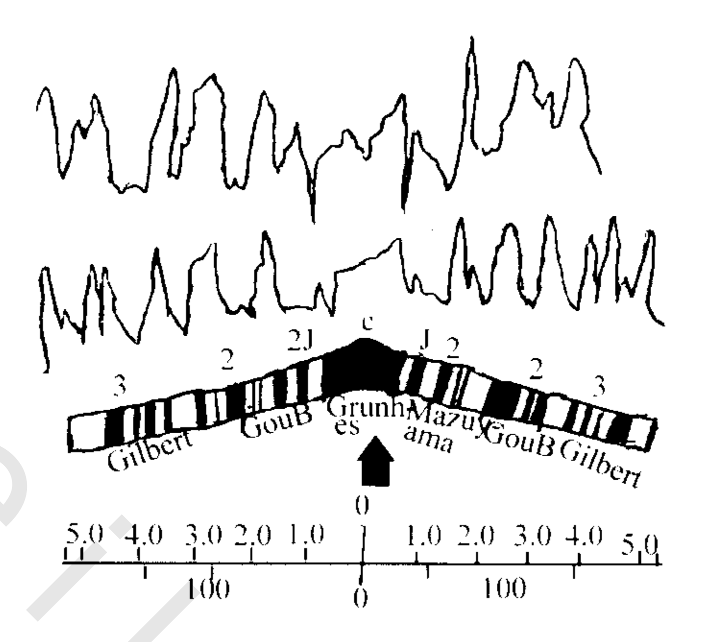
وبقياس المجال المغناطيسى فى البحر عموديا على إتجاه حركة الإتساع يمكن معرفة ما اذا كانت هذه البركانيات الموجودة فى قاع المحيط موجبة (فى إتجاه المجال الحالى) أم سالبة التمغنط (عكس الإتجاه الحالى للمجال المغناطيسى الأرضى) وبمعرفة عمرها يمكن إستنتاج تدرج الإنقلابات المغناطيسية وكذلك يمكن المقارنة مع التدرج المنتج بالطريقة السابقة (1) فى معدل إنفتاح البحر أو المحيط. يوضح شكل (4-20) نموذج لتعيين تدرجج الإنقلاب المغناطيسية من القياسات على خط منتصف البحر.

3.2.1.2.4.4 رحلة قصيرة Excursion Time:

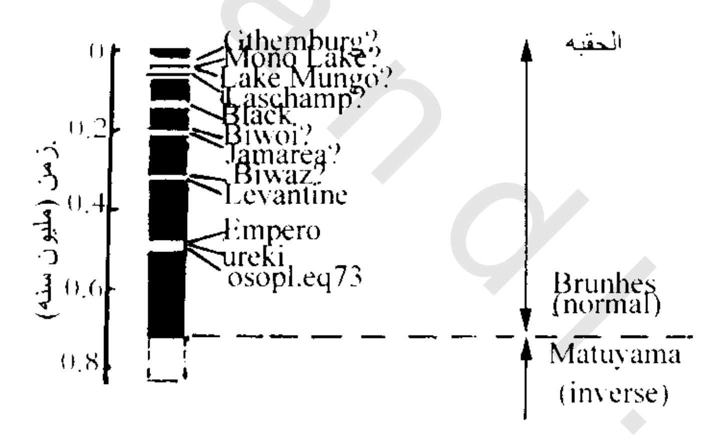
وهى طريقة عن آخر انقلاب مغناطيسى خلال البلاستوسين العلوى والهولوسين وفيها يقاس التتابع المغناطيسى فى الرسوبيات الحديثة المأخوذة من قاع المحيط ومن رسوبيات البرك والبحيرات التى تصب فيها الأنهار وفى الرسوبيات الطينية الحديثة فى اليابسة مثل رسوبيات دلتا الأنهار وماشابه ذلك بقصد الحصول على هذه الإنقلابات المغناطيسية، شكل (4-21) يوضح هذه الإنقلابات.



شكل (4-19): مراجعة زمن القطبية المغناطيسية. مقياس زمن الجزء الحديث إلى الكابنيان موضوع على أساس لويرى والمفتيرز Lowrie and Alvarez 1981 والجزء القديم معدل عن لارسون وهيلد Larson & Hilde 1975 التوضيحات أ) الأحقاب الجيولوجية، ب) عدد شذوذ المحيط. ج) استقطاب المغناطيسية الأرضية، د) الزمن بمليون سنة (لويرى (Lowrie 1982



شكل (4-20): تتابعات الإنقلابات المغناطيسية من استنباط بيانات القياسات المغناطيسية عبر بروفيل عمودى على منتصف المحيط axial truff. اللون الأسود فى إتجاه المجال الحالى normal. اللون الأبيض عكس المجال المغناطيسى الأرضى الحالى reversed (جوردن واكتون Gordon and Acton)



شكل (4-21): الإنقلابات المغناطيسية خلال 0.7 مليون سنة الماضية (Excursion time). اللون الأسود: إتجاه المجال الحالى (normal polarity). الأبيض: عكس الإتجاه الحالى (inverse polarity) (بترسن Petersen 1986)

3.1.2.4.4 تغيرات قصيرة الفترة Short-Period Changes:

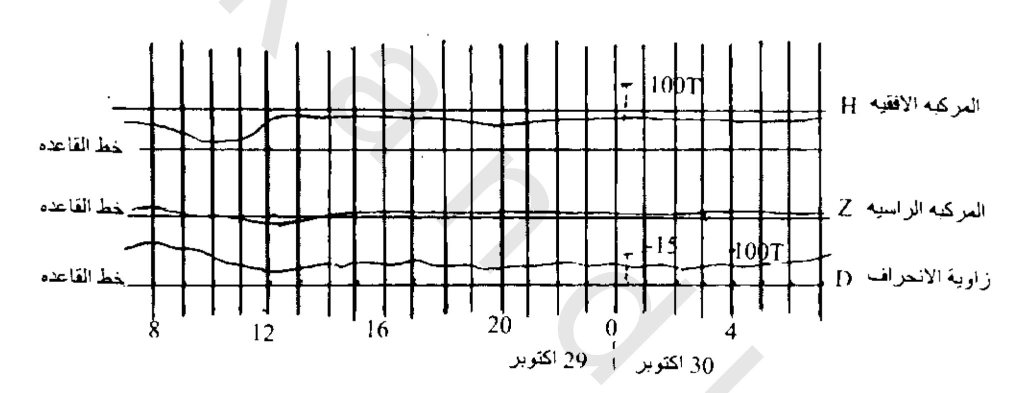
تحدث هذه التغيرات فى الجزء الصغير من المجال المغناطيسى للأرض وهو الجزء الخارجى وهناك نوعين لهذا التغير.

1.3.1.2.4.4 تغير هادئ Quite Change:

وينشأ من تغير الأيونوسفير ionosphere أو من تأثير المد Tidal effect ويعمل هذا التغير بفترات (يومى – أسبوعى – شهرى – ٦ أشهر).

التغير اليومى الهادئ Quit Daily Variation:

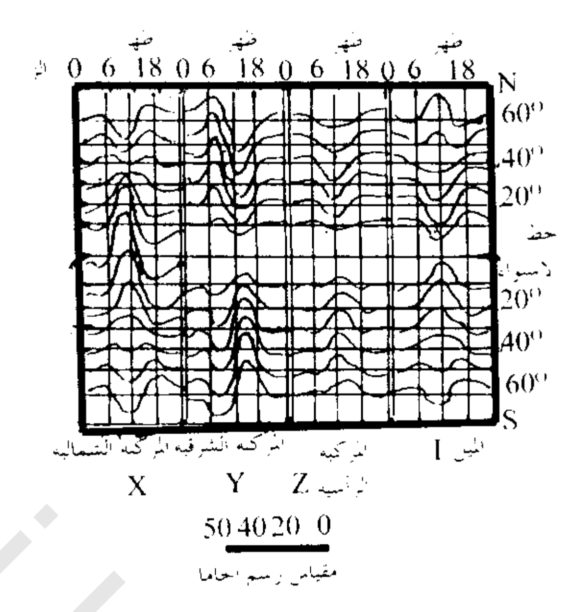
ينشأ هذا التغير من الحركة اليومية المنتظمة للغلاف الهوائى المتأين (أيونوسفير ionosphere) تبعا لشروق الشمس وغروبها حيث يتمدد هذا الغلاف ويرتفع عن سطح الأرض بشروق الشمس وتسخينها له حسب ساعات النهار ثم يقترب لسطح الأرض لغروب الشمس وحلول الليل فيبرد وينكمش وهكذا. هذه الدورة التى تستغرق 24 ساعة يحدث خلالها تحرك أيونات الغازات فى الغلاف الهوائى محدثة تيارات كهربية منتظمة تنتج مجالا مغناطيسيا له دورة منتظمة مقدارها 24 ساعة هذا المجال هو ما تقيسه المراصد على أنه التغير اليومى الهادئ (Solar quite (sq)) وحيث أن هذا التغير الهادئ يعتمد على موقع المشمس بالنسبة لمكان القياس (مكان المراصد المغناطيسية) لذلك فإن هذا التغير ودورته تعتمد على خطوط العرض وكذلك فصول السنة. ونتيجة لذلك فإن كل مرصد على سطح الأرض له منحنيات قياسية خاصة به ويتم حساب هذا المنحنى بأخذ متوسط المجال خلال ساعة لأكثر من خمسة أيام هادئة فى كل شهر من فصول السنة. وتكون هذه المنحنيات هى التى تمثل التغير الشمسى الهادئ (Sq). وقد وجد أن هذا التغير حوالى 30 جاما. ويوضح شكل (4-22) التسجيل البيانى فيوم هادئ المغناطيسى.



شكل (4-22): التسجيل البيانى المغناطيسى لتغير يوم هادئ نموذجى فى الشدة الأفقية H، والرأسية Z، والإنحراف D فى نيكسون-أريزونا (29 ,30 أكتوبر 1947)

وهناك اختلاف فى الطور قدرة ونصف دورة (π) بين التغير فى المركبة الراسية فى نصف الكرة الأرضية الشمالى عنه فى نصرف الكرة الجنوبى شكل (4-23). وبالتحليل الهارمونى (Harmonic Analysis) للدورات فى اليوم الهادئ وجد أنه ينقسم لقسمين:

- دورة كبيرة فى السعة وتتم كل 24 ساعة وهذا يسمى بالتغير اليومى الشمسى الهادئ (sq).
- دورة أقل فى السعة ولها طول مقداره 25 ساعة وتسمى بالتغير القمرى Lunar variation وتعتمد هذه الدورة على وجود القمر من هلال ونصف قمر وبدر... إلخ وسعة الدورة القمرية تكون أكبر ما يمكن عند اكتمال القمر وأقلها عندما يكون هلالا.

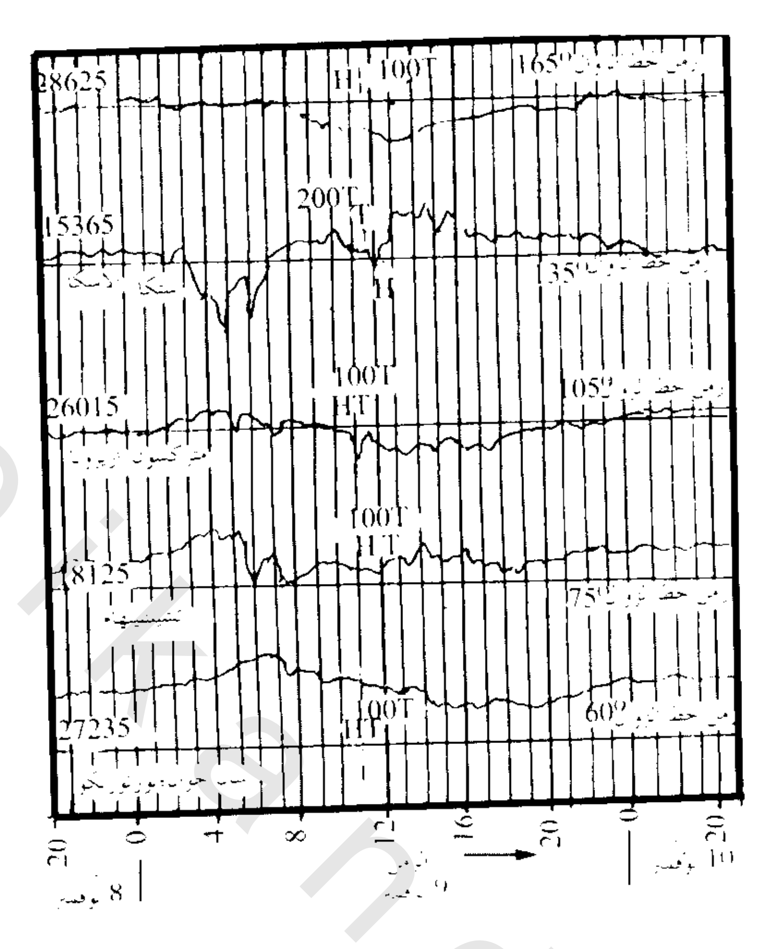


شكل (4-23): التغير اليومى الشمسى لأربعة عناصر مغناطيسية ذات 10° خط عرض بينها من 60° ش إلى 60° جنوبا فى الإعتدال الربيعى (Oxford 1940)

2.3.1.2.4.4 تغير مفاجئ Sudden Change:

وينشأ من نشاط الشمس المفاجئ (البقع الشمسة sun spots) والتى تسبب العواصف المغناطيسية* magnetic storms. وهذه العواصف تسبب انقطاعا فى عمليات الأستكشاف المغناطيسى ولايمكن توقعها لذلك من الصعب تصحيحها كما يتم بالنسبة للتغيرات اليومية ، ويجب توقف المسح المغناطيسى خلالها من خط الإستواء حتى خط عرض 60° حيث تصل سعة الذبذبات خلالها 1000 جاما. أما فى الأماكن القطبية وخاصة أثناء ظهور الشفق فإن هذه العواصف تكون مصحوبة بتغير مغناطيسى ذى سعة كبيرة. ولايمكن التنبؤ بهذه العواصف ولكن يتوقع أن تحدث على فترات لحوالى 27 يوما. وترددها مرتبط بمدى نشاط البقع الشمسية. أكثر العواصف شدة تبدأ فجأة وتحتدم فى نفس الوقت على كل أجزاء العالم وتستمر عادة عدة أيام. ويوضح شكل (4-24) تسجيل بيانى مغناطيسى للشدة الأفقية فى خمس مراصد بعيدة عن بعضها تماما خلال اليوم الأول لعاصفة مغناطيسية فى 9 نوفمبر 1947.

* خلال العواصف المغناطيسية فإن ابر جميع الأجهزة المغناطيسية تضطرب بشدة كبيرة مشيرة بذلك لقيم غير عادية لجميع عناصر المغناطيسية.



شكل (4-24): تسجيلات بيانية مغناطيسية لتغيرات المجال المغناطيسى فى خمس محطات خلال العاصفة المغناطيسية البادئة فى 9 نوفمبر 1947. الأزمنة كلها لمناطق الزمن المحليهة المناظرة (دوبرن Dobrin 1976)

5.4 التنقيب المغناطيسى Magnetic Prospecting:

لكى يتم هذا فإننا نواجه مشكلة قياسات مطلقة ونسبية للمجال المغناطيسى وتتم بعض القياسات المطلقة فى بعض المراصد، ولكن فى البحث الجيوفيزيقى فيقاس تغيرات صغيرة (قياسات نسبية) فى مركبات المجال بقيمة ضبط لاتزيد عن واحد جاما تحت الظروف العادية.

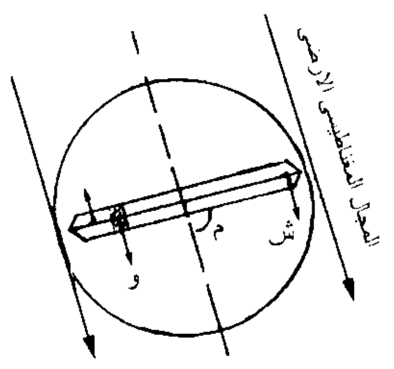
1.5.4 الأجهزة Instruments:

1.1.5.4 إبر الميل Dip Needles:

1.1.1.5.4 إبر الميل العادية Ordinary Dip Needle:

يوضح شكل (4-25) بوصلة ذات ابرة حرة الحركة فى المجال الرأسى بضابط وزنى (و) متصلة بجهة من محور المرتكز ويحرك الوزن حتى تكون الإبرة تقريبا أفقية وفى إتزان بين الإزدواج التثاقلى والمغناطيسى. بعد ذلك فإن أى تغير للمركبة الرأسية لمجال الأرض فإنه يغير عزم القوة المغناطيسية وبالتالى زاوية الميل للإبرة

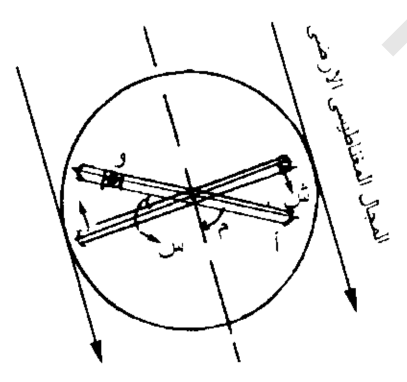
المغناطيسية. هذا الجهاز له حساسية كافية لقياس الشواذ الكبيرة للأنواع الناتجة من الرسوبيات المغناطيسة الضحلة.



شكل (4-25): إبرة الميل العادية فى مجال خارجى بميل مقداره (م)، وضابط وزنى (و)، شدة قطب (ش)

2.1.1.5.4 هاتشكس فائق الميل Hatckiss Superdip:

يوضح شكل (4-26) تركيب هذا الجهاز حيث يتكون من إبرة مغناطيسية حرة تدور حول محور أفقى. وقضيب غير مغناطيسى أ بعداد وزنى (و) فى نهايته والذى يرتبط بالإبرة المغناطيسية عند المرتكز. ويوجد بين محورى الإبرة والقضيب زاوية متغيرة مقدارها (ر) ويضبط الجهاز حتى تكون الإبرة المغناطيسية متعامدة على المجال الكلى للأرض ويكون القضيب أ أفقياز عندئذ فإن أى تغير فى المجال المغناطيسى الكلى F سوف يسبب دوران للجهاز والذى يكون فى حالة عدم اتزان وأقصى حساسية (فى هذه الحالة إذا كانت الزاوية تكمل الميل م لمجال المغناطيسى الأرضى أى ر = (9°-10°)، فإن الحساسية ستكون لانهائية). فى الحقل يفترض عدة درجات لكل جنب للزاوية التى تعطى اقصى حساسية. والزاوية التى تدور خلالها الأذرع بين قراءة وأخرى ممكن تحويلها للمجال الكلى بإستخدام منحنيات تجريبية تحدد بواسطة المعايرة.



شكل (4-26): إبرة هاتشكس ش (شدة القضيب)، و(ضابط وزنى) أ (قضيب غير ممغنط)، س (الزاوية المغيرة بين الإبرة والقضيب غير الممغنط)

2.1.5.4 أجهزة قياس شدة المجال المغناطيسى (المجناتومترات Magnetometers):

يقاس شدة المجال المغناطيسى الأرضى بطريقتين:

1- موازنة المجال المغناطيسى الأرضى والمجال الصناعى = صفر. أى أن أجهزة قياس هذا النظام تعتمد على التوازن الميكانيكى Mechanical-system instruments ويمكن لهذه الأجهزة قياس القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى وأيضا قياس القيم النسبية.

2- تحويل شدة المجال المغناطيسى المقاس إلى إشارة كهربية (electrical signal) يتم تكبيرها وقراءتها عن طريق مجموعة من الدوائر الإلكترونية.

وتسمى الأجهزة المستخدمة فى هذه الطريقة بالأجهزة الإلكترونية Electronic System Magnetometers.

1.2.1.5.4 المغناطومترات ذات النظام الميكانيكى Mechanical-System Magnetometers:

1.1.2.1.5.4 مغناطومترات القيمة المطلقة Absolute Value Magnetometers:

1.1.1.2.1.5.4 جهاز الإتزان المغناطيسى Magnetic Zero Balance (BMZ):

يستخدم لمقياس القيمة المطلقة للمركبة الرأسية Z للمجال المغناطيسى الأرضى. يتكون الجهاز من إبرتين مغناطيسيتن مثبتتان مع بعضهما البعض بمكعب من مادة غير مغناطيسية، هذا المكعب يرتكز على سن مدبب من الكوارتز (د) بحيث يكون حر الحركة فقط فى إتجاه رأسى.

تشغيل الجهاز:

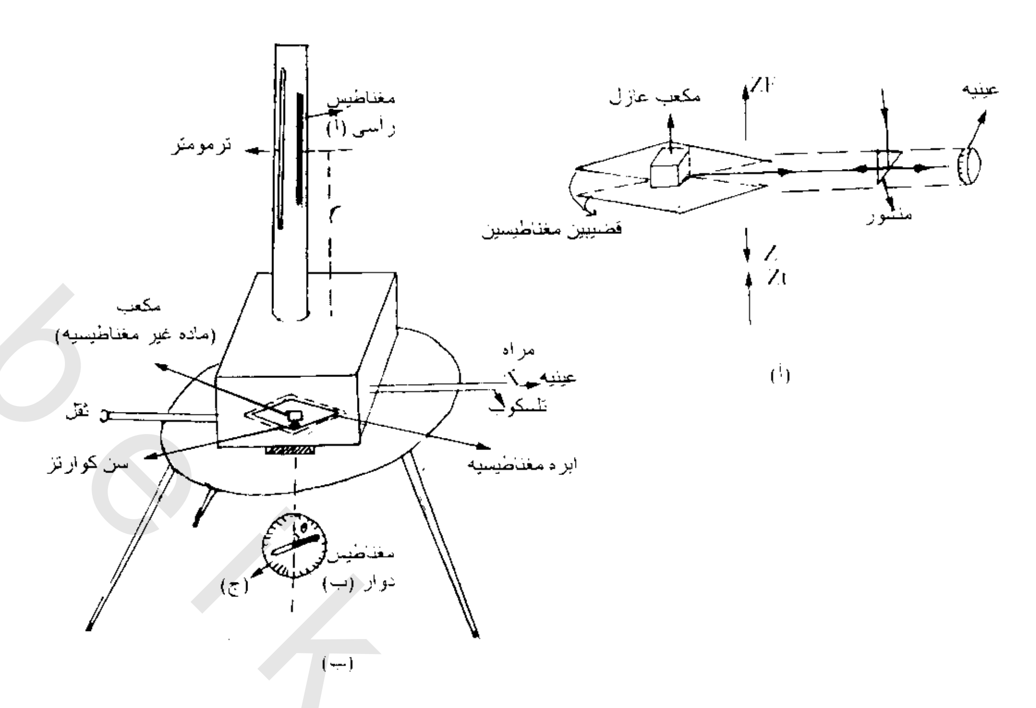
1) يوضع الجهاز بحيث يكون امتداد المغناطيس المزدوج عمودى على مستوى الزوال المغناطيسى magnetic meridian فتكون المركبة الرأسية Z هى الوحيدة التى تؤثر فى القضيب المغناطيسى ويميل تحت تأثيرها لأسفل.

2) تتم موازنة المركبة الرأسية بمجالات مغناطيسية معروفة بحيث تجعل الإبرة المغناطيسية أفقية ويتم ذلك بوضع مغناطيس ثابت أ فوق الإبرة المغناطيسية (Z_F) شكل (4-27).

3) يبعد هذا المغناطيس بمسافة r تعتمد على شدة المركبة الراسية فى منطقة القياس*.

4) يوضع مغناطيس آخر (ب) تحت الإبرة المغناطيسية وثبت فوق قرص دوار حتى يسهل التحكم فى شدة مجاله عند موقع الإبرة المغناطيسية شكل (4-25) ويسهل بذلك وزن المركبة الرأسية. فإذا كان هذا المغناطيس رأسيا كان مجاله عند موقع الإبرة المغناطيسية أكبر ما يكون maximum وإذا كان أفقيا يكون مجاله = صفر.

* تزيد المركبة الرأسية كلما اقتربنا من قطبى الأرض وتكون r أصغر مايكون. والعكس قرب مدار الإستواء. ويمكن إستخدام مغناطيس أقوى أو أضعف حسب المنطقة وقربها من القطب أو من مدار الإستواء.



شكل (4-27): توازن المركبة الرأسية Z مع: أ) مجال مغناطيسية أحدهما ثابت يعلو الإبرة المغناطيسية والآخر دوار أسفل الإبرة المغناطيسية. ب) شكل تخطيطى لجهاز BMZ يبين طريقة قياس القيمة المطلقة للمركبة الرأسية Z.

حساب المجال المغناطيسى:

1) حساب المجال المغناطيسى العلوى Z_F Field Magnet:

$$Z_F = 2\ m.\ r/(r^2 - \ell^2)^2 \qquad (4\text{-}23)$$

حيث M عزم المغناطيس = m, 2 ml شدة قطبه، 2ℓ طوله ، r المسافة بين منتصفه ونقطة إرتكاز المغناطيس المزدوج (د).

2) حساب المجال المغناطيسى الدائرى Turn Magnet:

شدة هذا المجال (Turn magnet) هو Z_T*

$$Z_T = (2\ M`/r^3)\cos q \qquad (4\text{-}24)$$

حيث `M عزم المغناطيس القصير، r المسافة بين منتصفه جـ والنقطة د، θ الزاوية التى يصنعها هذا المغناطيس مع الخط الرأسى جـ د.

3) حساب محصلة المجالات:

إذا وضع القضيب المغناطيسى المزدوج حر الحركة عند النقطة د فان محوره يميل على الأفقى تحت تأثير المركبة الرأسية للمجال المغناطيسى (Z component) فإذا عادلنا هذه المركبة بمجالين هى المجال

* مع إعتبار هذا المغناطيس الموجود أسفل المغناطيس.

المغناطيسى العلوى (أ) Z_F والمجال السفلى (ب) Z_T بحيث يرجع المغناطيس إلى الوضع الأفقى أى تصبح المحصلة عند د = صفر. أى

$$Z = Z_F + Z_T \tag{4-25}$$

حيث Z القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى الأرضى.

ملحوظة:

قيمة المجال المغناطيسى الأرضى متغيرة من مكان لآخر ومن وقت لاخر لذا يجب التحكم فى مجال Z_T, T_F وتغيرهما حسب الحالة للحصول على التوازن المطلوب. ويمكن تغيير المجال المغناطيسى الرأسى برفع هذا المغناطيس لأعلى أو خفضه لأسفل أى تغيير البعد r. أما المجال المغناطيسى الدائرى فيمكن تغييره بإدارة المغناطيس السفلى (الصغير) حول منتصفه جـ فإذا كان هذا المغناطيس أفقيا أى قيمة المجال عند د فى الإتجاه الراسى = صفر أى $\theta = 90°$ أى جتا θ = صفر.

ويمكن ملاحظة حركة المغناطيس المزدوج عن طريق تلسكوب تحمل العدسة العينيه تدريجيا صغيرا ثابتا. يسقط شعاع ضوئى على منشور قائم فينعكس كليا ليسقط على المرآة التى يحملها المكعب الموجود بين المغناطيسين المزودجين وعن طريق الشعاع المنعكس يمكن مراقبة حركة الجهاز. وهناك تغير نتيجة لدرجة الحرارة فإذا كانت α هى معدل التغير فى المجال بالنسبة للحرارة تصبح معادلة الجهاز

$$Z= Z_F + Z_T\, \alpha\, t \times 2\, \alpha\, \Delta t \tag{4-26}$$

2.1.1.2.1.5.4 جهاز مجناتومتر الكوارتز الأفقى Quartz Horizontal Magnetometer Q.H.M.:

يستخدم هذا الجهاز لقياس القيمة المطلقة للمركبة الأفقية للمجال المغناطيسى الأرضى:

تركيب الجهاز: شكل (4-28) يوضح تركيب الجزء الأساسى للنظام المغناطيسى حيث يتكون من:

1) خيط من الكوارتز معروف معامل اللى له (elastic torsion constant η).

2) إبرة مغناطيسية قصيرة معلقة بهذا الخيط أفقيا تماما حرة الحركة فى المستوى الأفقى.

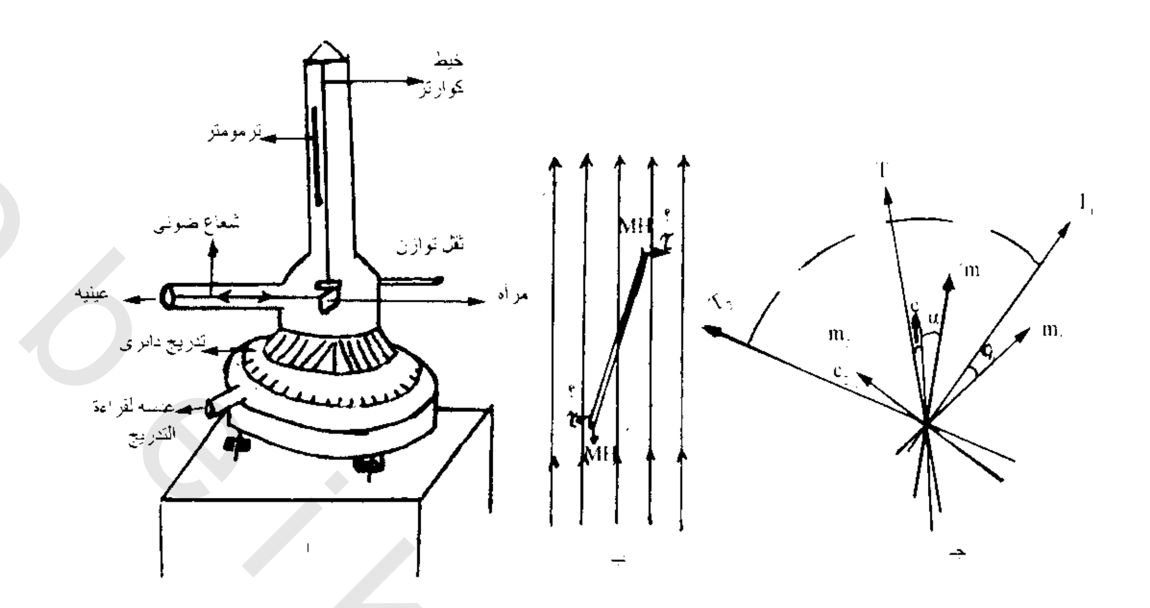
3) مرآة صغيرة ملتصقة عموديا بأسفل الإبرة المغناطيسية.

4) دائرة مدرجة بدقة موضوع عليها الجهاز ملتصق بها عدسة عينيه دقيقة.

تشغيل الجهاز:

فكرة تشغيل الجهاز هو إحداث توازن balancing بين تاثير المركبة الأفقية لمجال الأرض المغناطيسى على الإبرة المغناطيسية وبين اللى فى خيط الكوارتز المعلق فيه هذه الإبرة.

1) قراءة قيمة التدريج عندما تكون الإبرة متجهة جهة الشمال المغناطيسى.



شكل (4-28): نظام قياس القيمة المطلقة للمركبة الأفقية H للمجال المغناطيسى الأرضى: أ) تركيب جهاز مجناتومتر الكوارتز الأفقى Quartz horizontal magnetometer (QHM)، ب) يبين التوازن بين عزم اللى فى خيط الكوارتز وعزم المركبة الأفقية، جـ) طريقة قياس الزاوية α بين الوضع بدون لى وبعد اللى فى خيط كوارتز

2) إحداث لى فى خيط الكوارتز فتنحرف الإبرة عن إتجاهها نتيجة لعزم اللى وتتزن فى وضع جديد يصنع زاوية α مع الشمال المغناطيسى شكل (4-26 ب) أى أن الإبرة تكون تحت تأثير عزمين.

أ) العزم المغناطيسى ويساوى

$$MH \sin \alpha$$

ب) عزم لى خيط الكوارتز ويعتمد على معامل مرونته η ومنتصف قطر مقطعة r

$$\tau = 2\,\pi^2\, r^3\, \eta^{*} \qquad (4\text{-}27)$$

3) يحرك التلسكوب لكى يسقط الشعاع الضوئى عمودى على المرآة ويرتد على نفسه لكى تراه العين خلال التلسكوب شكل (4-26 جـ) الوضع T وفى هذه الحالة تكون الإبرة متزنة تحت تأثير المركبة الأفقية واللى الموجود فى خيط الكوارتز الذى قد يكون موجودا فيه قبل نتيجة الإستخدام. ويقرأ التدريج على القرص الدائرى.

4) يلف الجهاز بزاوية 2π فتتزن الإبرة فى الوضع m_1 ويقرأ التدريج T_1 ويكون مختلفا عنه فى الحالة الأولى بمقدار زاوية α.

5) يلف الجهاز بزاوية 2π فى الإتجاه المضاد فتتزن الإبرة فى الوضع m_2 ويقرأ التدريج T_2 وتقاس α.

* τ قيمة ثابتة من ثوابت الجهاز فمثلا إذا أحدثنا ليا مقداره 2π فإن قيمة τ تكون $2\,\pi\, r^3\, \eta$

6) يؤخذ متوسط α فى الخطوة (4)، (5) ويكون

$$MH \sin \alpha = 2 \pi \tau \qquad (4\text{-}28)$$

$$\& \quad H = (2 \pi \tau / M)(1/\sin \alpha) \qquad (4\text{-}29)$$

$$\therefore \log H = \log (2 \pi \tau / M) \text{ ñ } \log \sin \theta$$

$$= C \quad - \log \sin \theta \qquad (4\text{-}30)$$

توجد بعض التصحيحات نتيجة لدرجة الحرارة t تجعل المعادلة النهائية للجهاز هى

$$\log H = C \text{ ñ } \log \sin \theta + C_1 t \text{ ñ } C_2 H \cos \theta \qquad (4\text{-}31)$$

حيث C_1, C_2 ثوابت تعتمد على درجة الحرارة t.

قياس القيمة المطلقة لزاوية الإنحراف D: الطريقة:

1) تحديد مكان القياس ولتكن النقطة أ لقياس زاوية الإنحراف شكل (4-29) .

٢) قياس إتجاه هدف ما ثابت (علامة سمت Azimuth mark) من نقطة القياس وليكن هذا الهدف مثلا عمود تليفون (ب) وذلك باستخدام قرص تدريج زوايا.

3) قياس إتجاه موقع الشمس (أو أى نجم ليلا) باستخدام تيديوليت فلكى مركب على نفس قرص التدريج السابق.

4) من خط العرض ϕ لموقع نقطة القياس (أ) ومن تاريخ الرصد نحسب زاوية موقع الشمس 8*.

5) من زمن رصدة الشمس** نحسب زاوية الوقت t.

6) بعد ذلك نحسب إتجاه الشمال الجغرافى (ج) بالنسبة للعلامة الثابتة ولتكن هذه الزاوية θ من المعادلة

$$\cot \theta = (\sin \phi \cos t \text{ ñ } \cos \phi \tan \delta)/\sin t \qquad (4\text{-}32)$$

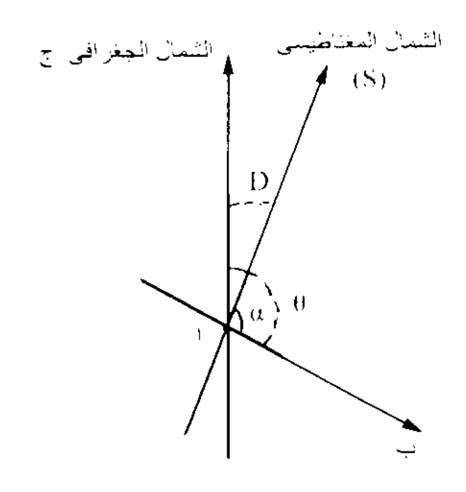
7) بواسطة إبرة مغناطيسية حرة الحركة أفقيا يقاس إتجاه الشمال المغناطيسى (د).

8) يقاس الزاوية بينه وبين إتجاه النقطة الثابتة ب.

9) زاوية الإنحراف هى الفرق بين زاوية الشمال الجغرافى وزاوية الشمال المغناطيسى بالنسبة للنقطة الثابتة ب أى

$$D = \theta - \alpha \qquad (4\text{-}33)$$

* هى زاوية تعامد الشمس حسب الفصول (تقع بين 23.5° شمالا صيفا ، 23.5° جنوبا شتاء).
** بدقة تصل لجزء من الثانية.



شكل (4-29): طريقة قياس القيمة المطلقة لزاوية الإنحراف D

2.1.2.1.5.4 أجهزة القياس للقيم النسبية Relative Instruments:

المقصود بالقياس النسبى هو الفرق بين قيمة المجال المغناطيسى عند نقطة ما ثابتة (نقطة الأصل base point) وبين نقطة أخرى. معنى هذا أنه لاتقاس القيم المطلقة ولكن يقاس الفرق فى تدريج القياس عند نقطة وأخرى، وهذه هى قيمة الشاذة المغناطيسية*. الأجهزة التى تقيس هذه الشذوذ تعتمد على التوازن المكيانيكى منها:

1.2.1.2.1.5.4 أجهزة قياس التغير فى المركبة الرأسية ΔZ :

من أهم الأجهزة المستخدمة لقياس هذه المركبة هو جهاز مغناطومتر شميدت Schemidt Type Magnetic Field Balance من أهم وأكثر الأجهزة المستخدمة للبحث والتنقيب عن الأرض باستخدام قياس المركبة الرأسية المغناطيسية (V) أو قياس المركبة الأفقية المغناطيسية H. شكل (4-30) يوضح هذا الجهاز ويتكون من:

1- نظام متحرك ويتكون من زوج مسطح شبه معين الشكل ولكل منهما عزم مغناطيسى ومصنوع من سبيكة (كوبلت – ستيل) مرتبطين من الوسط بمكعب عازل محمول بمحور إرتكاز أفقى من الكوارتز ليجعل هذا النظام المتحرك حر الدوران على المحور الأفقى متصل بمركز هذا النظام عند المكعب العازل بضابطى وزن يتحركان على ذراعين محورين وبواسطتهما يمكن تغير الوضع الأفقى والرأسى لمركز الجاذبية بالنسبة لحافة محور الإرتكاز** ويوجد أعلى مكعب التثبيت للمغناطيس مرآة صغيرة. والنظام مكافئ حراريا.

2- تلسكوب وتدريج لقياس دوران الزاوية لحركة الجهاز الناتجة من التغيرات الصغيرة فى الشدة المغناطيسية. ويصنع مدى النظام البصرى للحافظة على صورة المقياس فى المستوى البؤرى للعدسة العينية.

---

* تضرب هذه القيم ثابت معايرة الجهاز.

** عملية ضبط مركز ثقل النظام مهم جدا فإذا استخدم هذا الجهاز فى منطقة شمالية (مثل السويد وإنجلترا) فسوف يميل النظام ميلا كبيرا لأن المركبة الرأسية كبيرة وإذا استخدم فى منطقة جنوبية مثل جنوب أفريقيا أو جنوب آسيا فتكون المركبة الرأسية أصغر بكثير. لذلك يتطلب الأمر استمرار إعادة ضبط الثقل لتغير موضع ثقل المجموعة المغناطيسية magnetic syst. وجعل حدود قراءة الجهاز ضمن الحدود المتوقعة للمنطقة التى سيستخدم فيها الجهاز فيما يسمى مدى الضبط (range adjustment) وهذا الضبط يجهز بواسطة مصنع الجهاز للمنطقة التى سيورد الجهاز إليها (مثل أجهزة سميدت Schemidt، فانزلاد Fanslau واسكانيا Askania torsion balance وغيرها مما يعتمد على نفس فكرة التوازن) وقد يستخدم بدلا من الثقلين أو بالإضافة إليهما شريط من الكوارتز متصل بجانب المغناطيس ويضبط المغناطيس عن طريق اللى فى هذا الشريط (Torsion).

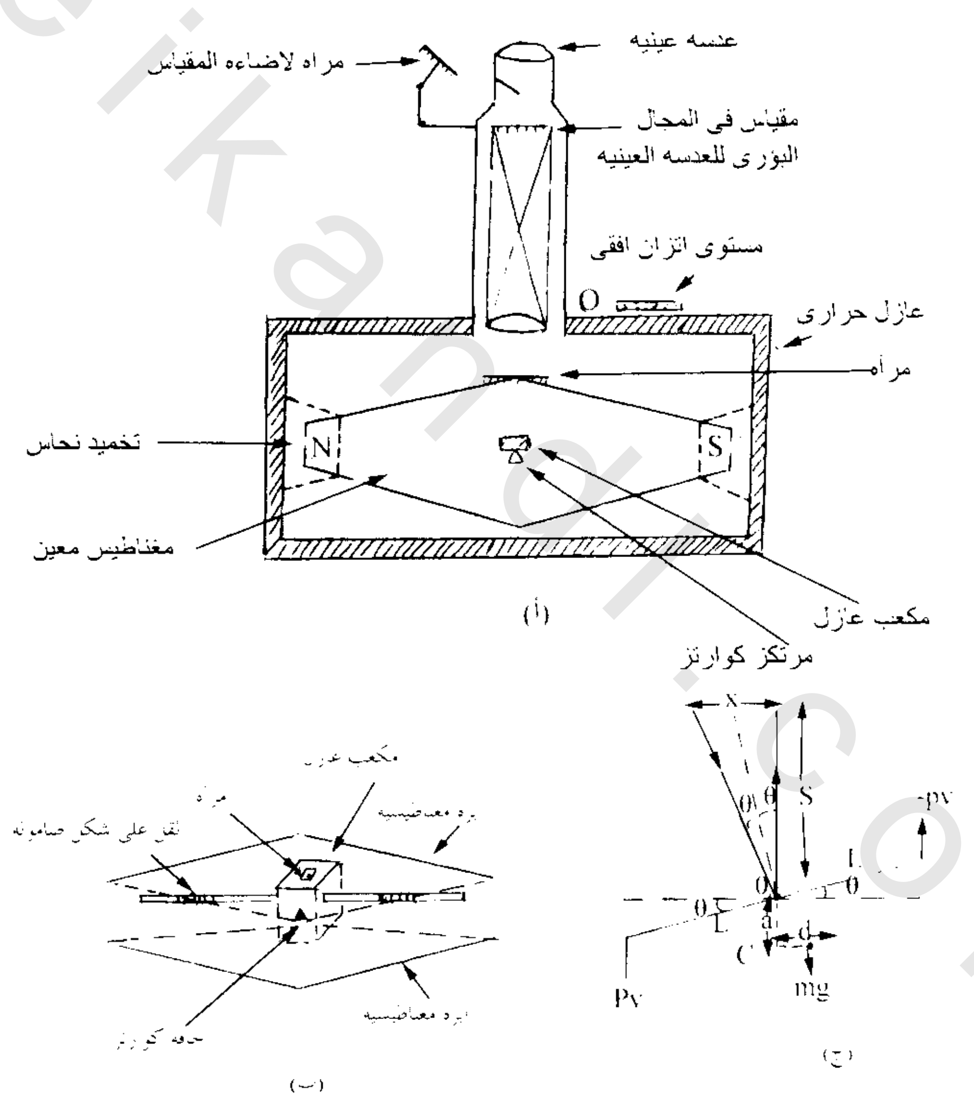
3- نظام التخميد (الكبت) وهو عبارة عن مقرنان (مضمدان) من نحاس ثقيل بينهما يوجد نهاية المغناطيس، هذا الوضع بدوره ينتج تيارات دوامية فى النحاس مسببا سرعة دوران النظام الحركى للجهاز.

4- ميكانيكية الضبط والربط والتى بواسطتها يثبت جهاز الحركة خلال قراءة الجهاز.

5- عازل حرارى وترمومتر لقياس درجة الحرارة.

6- مسامير محورية لرفع وإدارة اللوح الموضوع عليه الجهاز بغرض التوجيه. أيضا يوجد مغناطيس دائم موضوع فى مكان ضبط أسفل الجهاز فى أنبوبة رأسية محمولة بواسطة جهاز تدعيم. وظيفة هذا المغناطيس هو معايرة الجهاز فى موضع الصفر.

7- بوصلة إضافية لتحديد الزوال المغناطيسى وتوجيه الجهاز تبعا له.



شكل (4-30): مغناطومتر شميدت أ) قطاع عرضى، ب) المجموعة المغناطيسية، ج) التوازن بين عزوم القوى

قياس المركبة الرأسية (V):*

الطريقة:

1- يوجه** الجهاز لكي يصبح مستوى الذبذبة (تأرجح الجهاز الحركي) عمودي على مستوى الزوال المغناطيسي*** (محور دوران الإبرة يكون الآن موازي للمركبة الأفقية H).

2- توضع الإبرة المغناطيسية للجهاز بحيث لايكون مركز كتلتها على محور الدوران.

3- في شكل (4-28 ج) يوجد زوجين من القوة المؤثرة على الإبرة

أ) عزم مغناطيسي مشير لدوران الإبرة في عكس إتجاه الساعة نتيجة تأثير المركبة الراسية المغناطيسية (V) على الأقطاب المغناطيسية وهذا العزم يساوي $2PVL \cos\theta$.

ب) عزم تثاقلي يشير لدوران الإبرة في إتجاه عقرب الساعة وهذا العزم يساوي (الوزن المؤثر على مركز الجاذبية) $mg\, d \cos\theta + mga \sin\theta$.

وقبل التعرض لمعادلة الحركة لابد من تعريف بالجهاز حيث:

L = ½ طول المغناطيس

P = شدة القطب المغناطيسي

V = المركبة الرأسية للمجال المغناطيسي

o = مركز حافة المرتكز

C = مكان مركز جاذبية جهاز الحركة

d, a = مركبتي الإزاحة من مركز الجاذبية من حافة المرتكز وتوازي المحور المغناطيسي بالتتابع.

m = مركز جهاز الحركة

θ = الزاوية بين المحور المغناطيسي والأفقي

g = عجلة الجاذبية

S = الطول البصري للجهاز البصري

X = المسافة على المقياس للأرقام المنعكسة

عند موضع الإتزان يوجد عزمين متساويين هما:

عزم المغناطيس = العزم التثاقلي للقضيب المغناطيسي

$$mg\, d \cos\theta + mg\, a \sin a = 2\, PVL \cos\theta \qquad (4\text{-}34)$$

* تستخدم هذه المركبة أساسا في التنقيب المغناطيسي.

** يمكن إتمام هذا بواسطة بوصلة عادية.

*** مستوى الزوال المغناطيسي هو مستوى رأسي بين المركبة الأفقية H والمجال الكلي T وإذا تأرجحت الإبرة في هذا المستوى فإنها تتعرض لتأثير كلا من المركبة الراسية V والأفقية H.

ولكن $p = \frac{M}{2L}$ حيث M العزم المغناطيسى

$$mg\,d\cos\theta + mg\,a\sin a = 2\frac{M}{2L}VL\cos\theta$$

$$= MV\cos\theta$$

$$\therefore mgd\cos\theta - MVL\cos\theta = -mga\sin\theta$$

$$(mgd ñ MV)\cos\theta = -mg\,a\sin\theta$$

$$\therefore \frac{(mgd - MV)}{-mga} = \frac{\sin\theta}{\cos\theta}$$

$$\therefore \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{mgd - MV}{-mga}$$

$$= \frac{MV - mgd}{mga}$$

$$\therefore \tan\theta = \frac{MV - mgd}{mga} \qquad (4\text{-}35)$$

$\therefore \tan 2\theta = 2\tan\theta$ (θ صغيرة جدا (دائما أقل من)

وحيث

$$X = S\tan 2\theta \qquad \therefore X = 2S\,tna\,\theta$$

$$\therefore \tan\theta = \frac{1}{2}\frac{X}{S} \qquad (4\text{-}36)$$

من (4-33)، (4-35)

$$\therefore \tan\theta = \frac{MV - mgd}{mga} = \frac{1}{2}\frac{X}{S} \qquad (4\text{-}37)$$

وواضح أن أى تغير فى V يقابله تغير فى X, θ

$$\therefore \tan\theta' = \frac{MV'-mgd}{mga} = \frac{1}{2}\frac{\bar{X}}{S} \qquad (4\text{-}38)$$

الفرق بين (4-38)، (4-37) يكون

$$\frac{MV'-mgd}{mga} - \frac{MV - mgd}{mga} = \frac{1}{2}\frac{\bar{X}}{S} - \frac{1}{2}\frac{X}{S}$$

$$\therefore \frac{M\bar{V} - mgd - MV + mgd}{mga} = \frac{\bar{X} - X}{2S}$$

$$\therefore \frac{M\bar{V} - MV}{mga} = \frac{\bar{X} - X}{2S}$$

$$\therefore 2S(M\bar{V} - MV) = mga(\bar{X} - X)$$

$$\therefore 2MS(\bar{V} - V) = mga(\bar{X} - X)$$

$$\therefore V - V = \frac{mga}{2\,MS}\left(\overline{X} - X\right) \qquad (4\text{-}39)$$

حيث $K = \frac{mga}{2\,MS}$ ثابت مقياس الجهاز.

قياس المركبة الأفقية المغناطيسية H*:

يدار الجهاز 90° من المكان السابق لقياس المركبة الرأسية المغناطيسية (V) وعند هذه الحالة سيكون هناك تأثير لكلا المركبتين H، V ويكون لدينا إزدواجية مغناطيسية بدلا من واحد. وتكون معادلة الإتزان

$$2\,VPL\cos\theta + 2\,HPL\sin\theta = mg(d\cos\theta + a\sin\theta) \qquad (4\text{-}40)$$

$$\therefore 2\,HPL\sin\theta = mg(d\cos\theta + a\sin\theta)\ \text{ñ}\ 2\,VPL\cos\theta$$

وبالتعويض عن قيمة $p = \frac{M}{2L}$ كما تم سابقا

$$\therefore 2H\,\frac{M}{2L}L\sin\theta = mg(d\cos\theta + a\sin\theta) - 2V\,\frac{M}{2L}L\cos\theta$$

$$HM\sin\theta = mg(d\cos\theta + a\sin\theta)\ \text{ñ}\ VL\cos\theta$$

$$H = \frac{mg}{M\sin\theta}\,(d\cos\theta + a\sin\theta)\ \text{ñ}\ VL\cos\theta$$

$$= \frac{mg}{M}\,(d\cot\theta + a)\ \text{ñ}\ VL\cot\theta \qquad (4\text{-}41)$$

ويمكن الحصول على H بمعرفة V

وهذا يصعب إجراؤه فى الحقل حيث يوجد تصميم لفصل V، H

العمليات الحقلية:

1- يستوى الجهاز على قاعدة ثلاثية الأرجل باستعمال ميزان مائى صغير.

2- يحدد الزوال المغناطيسى بواسطة البوصلة الإضافية ثم يوضع الجهاز بحيث يكون محور النظام المتحرك فى الجهاز عمودى على الزوال المغناطيسى.

3- تؤخذ قراءة الجهاز بعد إطلاق النظام المتحرك. ثم يدار الجهاز 180° ويكرر أخذ القراءة.

4- تؤخذ القراءة الحرارية لعمل التصحيح الحرارى.

5- بعد ذلك يقبض (يربط) النظام المتحرك بالجهاز. ويعد الجهاز بعد ذلك لأخذ قراءة أخرى. ويؤخذ فى الإعتبار احتياطات ضرورية أثناء عملية الحقل وهى:

* تستخدم قياسات H فى حالات كعمل الخرائط المعيارية وذلك بقياس القيم المطلقة لـ H لمنطقة كبيرة وبعد القياس تربط هذه القياسات بين محطات القياس والقيم المطلقة فى كل المحطات المقاسة لمركبات المجال المغناطيسى الكلى للأرض وبذلك يتم رسم الخرائط العيارية لهذه القيم المطلقة.

(i) مواقع المحطات يجب أن تكون بعيدة عن أى مواد مغناطيسية مثل)خطوط السكك الحديدية، المصانع، المبانى المسحلة، محطات الكهرباء ...إلخ).

(ii) يجب أن يكون الراصد نفسه محرر من المواد المغناطيسية الشخصية مثل الساعة وشمبر النظارة المعدنى...إلخ.

(iii) لاتقل المسافة بين محطتين عن 200

(iv) نسخة من القراءات الأصلية.

معايرة الجهاز:

يتم هذا بوضع الجهاز فى مجال مغناطيسى منتظم. ومن أحسن هذه المجالات هو المجال المغناطيسى المنتظم بواسطة ملف هلموهلتز (Helmoholtz coil)*.

3.1.5.4 الأجهزة الإلكترونية Electronic Magnetometer:

تقيس هذه الأجهزة مباشرة وبطريقة سريعة جدا وتحت كل الظروف القيمة المطلقة للمجال المغناطيسى الكلى T أو التغير فى ΔT وبعضها يقيس مركبات X, Y, Z.

مميزاتها:

1- يمكن حملها فى طائرة أو سفينة والقياس بها على الأرض.

2- أكثر حساسية تبلغ حساسيتها 0.1 نانوتسلا (0.1 nT) وتصل فى بعض الأنواع الخاصة منها إلى 0.001 نانوتسلا.

3- يمكن بواسطتها اكتشاف المواد ذات التمغنط المنخفض جدا أو الأجسام الصغيرة للغاية.

4- تستخدم فى مجال البحث عن البرول وتوصيف شكل صخور القاع.

5- تستخدم فى التنقيب عن الآثار والمشاركة فى دراسة الجويولجيا الهندسية.

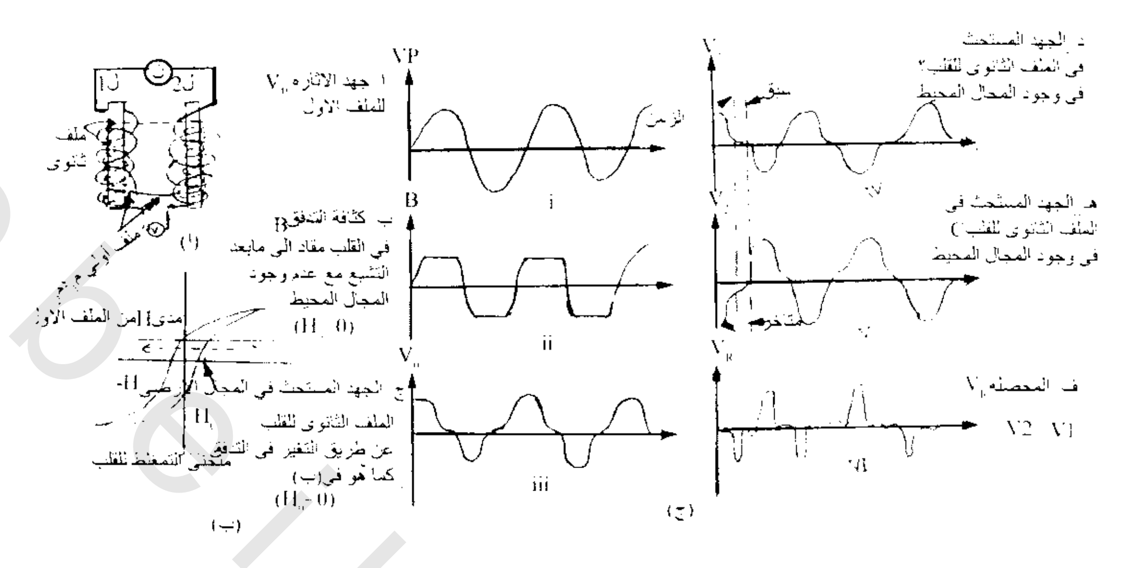
6- جعلت التنقيب المغناطيسى سهلا ورخيص التكاليف ونتائجها مؤكدة.

1.3.1.5.4 مغناطومتر بوابة الفيض (ذو فتحة التدفق) Flux-Gate Magnetometer:

كان بداية إستخدام هذا الجهاز فى الحرب العالمية الثانية وخاصة فى الغواصات. ثم كان من أول الأجهزة التى استخدمت فى القياسات المغناطيسية من الطائرة الثابتة الجناح. ثم استخدم بعد ذلك ولكن بدرجة أقل للمسح المغناطيسى على الأرض.

شكل (4-31) يوضح فكرة الجهاز وتركيبه ويتركب من:

* ملف هيملموهلتز: عبارة عن ملفين متساويين تماما فى القطر وعدد اللفات وكل منهما موازى للآخر والمسافة بينهما تساوى قطر الملف.



شكل (4-31):

1- قلبان متوازيان (ل$_1$ ، ل$_2$) من مغناطيس حديدى ذى نفاذية عالية أى أن المغناطيسية المتبقية له تكاد تكون صفر كما يوضح منحنى التمغنط شكل ٩ ب أى أن قوة مجالهما المصغر (coercive force) صفر تقريبا.

2- على كلا القلبين ملفان أوليان (م$_1$، م$_2$) يتساويان فى كل شئ ولكن إتجاه لفهما منعكس ويسرى فى كل منهما تيار متردد عالى (حوالى 1000 هيرتز) وشدته كافية لإحداث التمغنط الحثى المشبع فى القلبين عند قمة التيار المتردد أو قاعه.

3- على الملفان الأوليان يوجد ملفان ثانويان متصلان بمقياس شدة الجهد الذى يقرأ الفرق بين الجهدين الخارجين.

فكرة التشغيل:

1- إذا ماركب المجال الأرضى على مجال دورى مستحث بواسطة تيار متردد فإن المجال الناتج سوف يشبع القلب.

2- يرصد الموضع فى دورة الإمداد بالطاقة التى يتم عندها الوصول للتشبع وهذا يعطى مقياسا للمجال الأرضى المحيط.

طريقة التشغيل (شكل 4-31 ج):

1- تمغنط أحد القلبين بالتيار المتردد فى غياب المجال الأرضى المحيط (عندما يكون محور القلب عمودى على مجال الأرض) المجال الناتج من هذا التمغنط ممثل بالمجال الجيبى H (شكل 4-31جi).

2- التشبع للقلب يظهر بصورة قطع عند قمة المنحنى وقاعة (شكل 4-31جii).

3- الجهد الناتج فى الملف الثانوى يتناسب مع معدل التغير فى الفيض المغناطيسى ولهذا فإن منحناه يتجه للصفر أثناء جزء من الدورة عندما يكون القلب مشبعا (شكل 4-29جiii).

4- بإدخال مجال محيط (مجال الأرض المغناطيسى عندما يكون محاور القلبين فى إتجاهه) فذلك يساعد على التمغنط من التيار الموجود. هذا يساعد نقطة التشبع على الإسراع فى وجود هذا المجال المحيط (شكل 4-31 v, iv).

5- شكل (4-31جـiv) يمثل مخرج الملفين على التضاد مكونا أزواج من الأنابيب وإرتفاع وإنخفاض هذه الأنابيب يتناسب مع المجال المغناطيسى المحيط المؤثر فى الجهاز.

يوجد نوعان من اجهزة ذو فتحة التدفق أحدهما يحمل جوا وكان يستخدم سابقا للكشف عن الغواصات ثم طور للإستخدام فى المسح المغناطيسى الأرضى وصمم هذا الجهاز بحيث يكون سهل النقل وسرعة التشغيل ويقيس المجال الرأسى.

2.3.1.5.4 المغناطومتر النووى Proton Magnetometer:

يوجد ثلاث نماذج لهذا النوع:

الأول للمسح الجوى **والثانى** للمسح البحرى **والثالث** للأستعمال على الأرض وجميعها تقيس المجال المغناطيسى الكلى للأرض بدلا من مركباته. ودقة النموذجين الأول والثانى أكبر بكثير من النموذج الثالث والذى يستخدم لقياس الشدة المغناطيسية على الأرض تلك الخاصة بمقياس الشدة المغناطيسية للأرض.

هذه الأجهزة مصممة على أن معظم العناصر الكيميائية لها عزم مغناطيسى، حيث أن نواة هذه العناصر يمكن إعتبارها مغناطيسيات صغيرة على هيئة كور تدور حول محورها المغناطيسى وطبقا لقوانين ميكانيكا الكم فإن مثل هذه الكور سوف تتجه لتنظم نفسها موازية أو عمودية على أى مجال مغناطيسى خارجى لذلك فإن هذه الأنوية تنفصل لمجموعتين دوارتين أحداهما موازية للمجال الخارجى وفى إتجاهه والأخرى موازية ومتضادة فى الإتجاه وهى تسلك بالتالى كثنائية القطب المغناطيسى. وتكون ثنائيات القطب (dipoles) هذه ذات إتجاهين متضادين وتكون المحصلة مساوية للصفر. أبسط نواة لها هذه الخاصية هى نواة الهيدروجين، وحيث أن الأوكسجين ليس له عزم مغناطيسى، فإن عينة الماء يمكن إعتبارها أنها مجموعة من البروتونات (نواة الهيدروجين). إذا وضعنا هذه العينة من الماء فى زجاجة وأحيطت بملف محوره عمودى على المجال المغناطيسى الأرضى ومرر فى هذا الملف تيارا كهربيا قويا بحيث ينتج عنه مجال مغناطيسى عالى يساوى 100 مرة قدر المجال الأرضى فإن عزوم البروتونات تتجه لإتجاه هذا المجال الخارجى فإذا قطع هذا المجال فإن البروتونات تصنع دورانا مغزليا (gyration) حول خطوط قوى المجال المغناطيسى الأرضى H_a بسرعة زاوية (W) أى أن

$$W = \gamma P\, H_a \qquad (4\text{-}42)$$

حيث γP ثابت الغزل البروتونى (gyration constant)

ويكون التردد

$$F = \gamma P\, H_a/2\pi \qquad (4\text{-}43)$$

وحيث أن

$$\gamma P = 6.7513 \times 104\ (\text{oe.sec})^{-1}$$

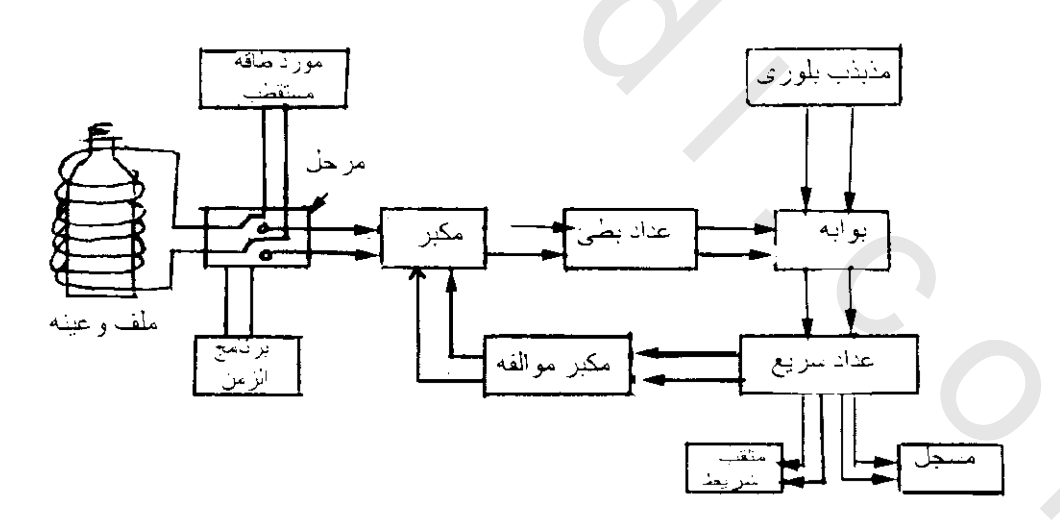
$$= 0.67513\ /\gamma\text{sec.} \qquad (1\gamma = 1\ \text{nT})$$

$$\therefore H_a = F.\ 2\pi/0.26513. \qquad (4\text{-}44)$$

حيث F هى مقدار التردد، أى أن قيمة المجال المغناطيسى الأرضى H_a المقاس يعتمد على قيمة التردد.

وقيمة التردد هذه تساوى تقريبا 2000 هرتز فإذا كان المجال الخارجى حوالى 50000 جاما (نانوتسلا) فإن الحساسية المطلوبة هى $\frac{2000}{50.000} = 0.04$ هيرتز/جاما. لذلك يجب أن يكون الجهاز حساسا ويجب أن يقيس بسرعة لاتزيد عن ثانية واحدة حتى لاتموت الإشارة (signal) القادمة من البروتونات.

ويمثل شكل (4-32) رسما تخطيطيا مبسطا يبين نظام تشغيل قياس التردد فى هذا الجهاز (يستخدم بالطائرات). يطبق مجال مستقطب شدته حوالى 100 أورستد مع الرأس الحساسة* (sensor) المقطورة (المسحوبة) خلف الطائرة. تقاس حركة دوران النواة مرة كل ثانية خلال فترة حوالى Ω ثانية. بعد قطع المجال المستقطب فإن إشارة الحركة الدورانية (البدارية) المستحثة فى الملف تتسبب فى فتح الفتحة الإلكترونية وتغلق هذه الفتحة بعد مرور عدد معين من الموجات الجيبية (حوالى 500 فى فترة نصف ثانية) خلال الدائرة. وعندما تكون الفتحة مفتوحة فإنها تسمح بمرور إشارة من مذبذب التردد المعيارى (100 كيلوهيرتز) والتى تسجل عدد موجاته الجيبية بالتالى بواسطة عداد سريع وهناك مسجل رقميا ثنائيا لتسجيل عدد دورات الإشارة العالية التردد التى مرت خلال الفتحة أثناء المناظر لعدد محدد من دورات تذبذب الحركة البدارية فى هذا العدد يحول لجهد كهربى ممثلا بخط مرسوم على شريط ورق متحرك أو يخزن رقميا على شريط. وقد طورت هذه الأجهزة أكثر بحيث تستخدم بخار السيزيوم أو الروبيديوم فى رأس الجهاز (سينسور sensor) لذلك يمكن الحصول على دقة عالية تصل إلى 0.005 جاما (نانوتسلا nT) وله مدى قياس عالى (range) يتراوح من 2000 إلى 80000 نانوتسلا.



شكل (4-32): رسم تخطيطى لمقياس شدة المغناطيسية ذو الرنين النووى، فاريان (Varion Associates)

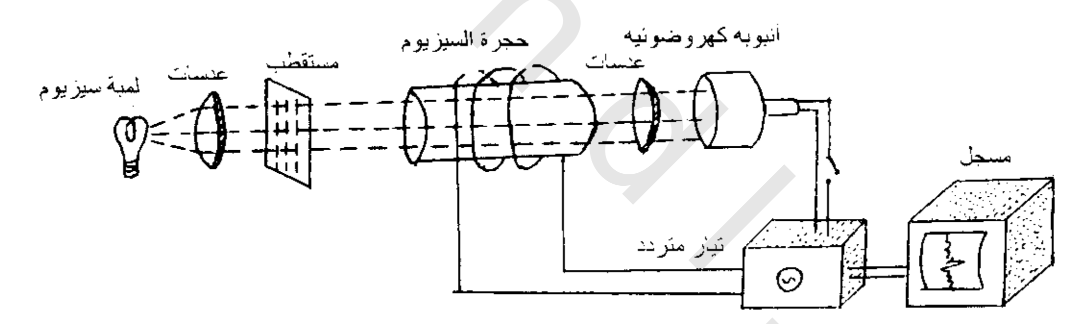
* عبارة عن زجاجة بها السائل مدعمة الكتروستاتيكيا. ويزن الجهاز كله أقل من 120 أوقية ولايحتاج لميكانيكية معقدة لتوجيه كما جهزة ذات فتحة التدفق.

3.3.1.5.4 مغناطومتر الضخ الضوئى Optical Pumping Magnetometer:

يعتبر من أهم المغناطومترات الحساسة المخترع حتى الآن لقياس تقدم (دوران) الإلكترون لإيجاد شدة المجال المغناطيسى الأرضى.

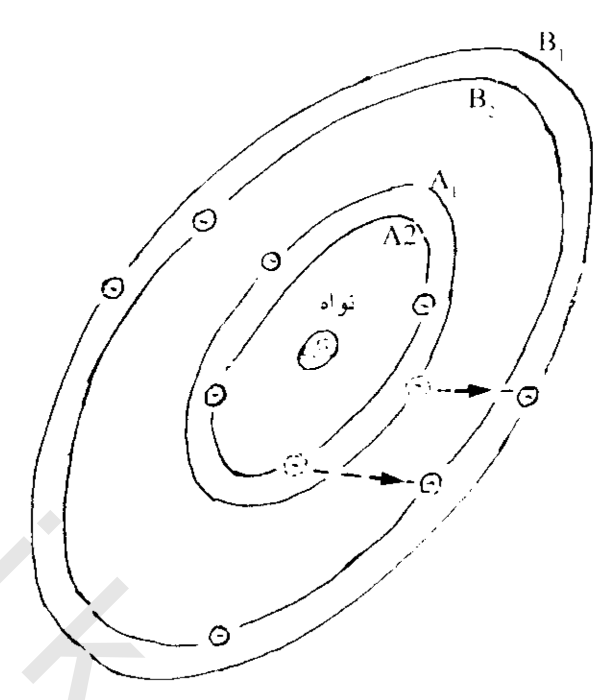
ينتج عن الحركة المغزلية للإلكترون (المشابه للبروتون) عزم زواوى وعزم مغناطيسى، إذا لم يكون المحور المغزلى منتظم (غير موازى) مع المجال الأرضى فإنه يتقدم بتردد يتناسب مع شدة المجال الأرضى. وصممت هذه المغناطومترات لقياس تردد تقدم الإلكترون بطريقة تختلف تماما عن المستخدمة فى مغناطومتر تقدم البروتون. وتوزيع الإلكترونات فى بخار السيزيوم من أكثر البراهين ملاءمة لهذه القياسات. ويسمى الجهاز المستخدم فيه السيزيوم مغناطومتر بخار السيزيوم. وأيضا يستخدم بخار الربيديوم فى نفس الأجهزة ويسمى الجهاز فى هذه الحالة مغناطومتر بخار الربيديوم. وبالرغم أن المادتين تستخدم حاليا إلا أن السيزيوم أثبت إقناعا أكثر.

يوضح شكل (4-33) أساس تصميم هذا المغناطومتر ويتكون من ملف متصل بمصدر تيار متردد حول حجرة حاوية على بخار السيزيوم.يمر ضوء مستقطب خلال الحجرة لخلية كهروضوئية والتى تكون حساسة للتغير فى شدة الضوء. ويمكن ضبط توزيع الإلكترونات فى البخار والمتأثر بشدة الضوء يتوافق التيار المتردد فى الملف مع تقدم تردد الإلكترون.



شكل (4-33): المكونات الأساسية لمغناطومتر بخار السيزيوم (يتأثر شدة شعاع الضوء الواصل للأنبوبة الكهروضوئية نتيجة لتقدم الكترون السيزيوم بسبب تأثير المجال المغناطيسى الأرضى)

تتوزع الإلكترونات المكافئة فى ذرة السيزيوم فى مدارات مختلفة معتمدة على الطاقة التى نملكها. وتوزيع هذه الإلكترونات موضحة فى شكل (4-34). فبإعتبار أربع مدارات فإن الإلكترونات الأقل طاقة تتبع المدار المنخفض A_2 بينما الذى لها طاقة أكبر تتبع المدارات الأعلى B_1, B_2, A_1 وبتغير طاقة الإلكترون يمكن إنتقاله لمدار آخر. وتبعا لقوانين ميكانيكا الكم، ينتقل الإلكترون بإزاحة معنية. ويمكن أيضا إنتقاله من مدار A_1 إلى مدار B_1 أو من مدار A_2 لمدار B_2 وذلك بامتصاص طاقة فوتونات الضوء. أما الإنتقالات الصغيرة من المدار A_2 للمدار A_1 أو من B_2 إلى B_1 فمن الممكن أن يكون هذا مصاحب للطاقة الإضافية المطلوبة لتوجيه المحور المغزلى للإلكترون.



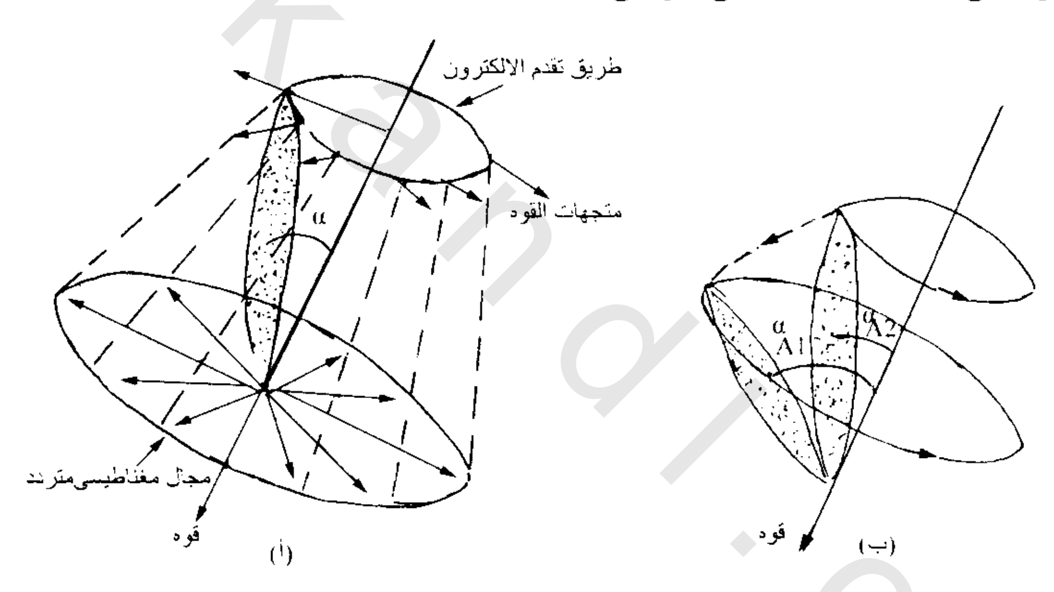
شكل (4-34): بعض ظواهر حركة الإلكترون فى أربع مدارات لذرة سيزيوم. عندما تكتسب الإلكترونات طاقة فى المدار A_1 فيمكن انتقالها إلى المدار B_1. بالمثل الإلكترونات المكتسبة طاقة فى المدار A_2 تنتقل للمدار B_2

ويمكن إمتصاص الطول الموجى للضوء الخارج من لمبة السيزيوم بواسطة الكترونات ذرات السيزيوم، وباستقطاب هذا الضوء يمكن امتصاصه فقط بواسطة الكترونات مدارات A_1*. وهناك أيضا بعض الفوتونات التى تمتص بواسطة الإلكترونات وعندئذ تزاح بين المدار A_1 للمدار B_1، وتسمى هذه العملية بالضخ الضوئى (optical pumping) حيث تضخ طاقة الضوء للحجرة (حجرة السيزيوم بالجهاز) وتبقى بواسطة طاقة الكترونات جديدة لذلك فإن مغناطومتر بخار السيزيوم وكذلك بخار الربيديوم تصنف كمغناطومترات ضخ ضوئى.

ولأن الفوتونات الممتصة بواسطة الإلكترونات لاتمر خلال حجرة بخار السيزيوم فإن شدة أشعة الضوء الواصلة للخلية الكهروضوئية تكون تقريبا منخفضة. وعنما تكتسب جميع الإلكترونات فى المدارات A_1 طاقة وإزاحة لمدارات B_1 فإنها لاتمتص فوتونات أكثر وبعد ذلك يصل شعاع الضوء للخلية للضوئين ليصبح أكثر لمعانا لأن جميع الفوتونات تمر فى هذه اللحظة خلال الحجرة. وعندما تكتشف الخلية الكهروضوئية أشعة ضوئية ذات شدة عالية فهى تنشط مصدر التيار المتردد لكى ينتج مجال مغناطيسى فى الملف حول الحجرة. ويتغير تردد المجال أوتوماتيكيا عندما يتوافق مع تقدم تردد الإلكترونات. عند هذا التردد تمد الطاقة لإزاحة بعض الإلكترونات من المدارات A_2 عندئذ لمدارات مكافئة A_1 . لعمل هذه الإزاحة يجب توجيه محور المغزل بالنسبة للمجال المغناطيسى الأرضى من زاوية نموذجية صغيرة للإلكترونات منخفضة الطاقة فى مدارات A_2 لزاوية كبيرة للإلكترونات فى المدارات A_1.

* تعمل مغناطومترات بخار السيزيوم بواسطة مرور ضوء سيزيوم مستقطب خلال حجرة البخار.

ويوضح شكل (4-35) تقدم (دوران) محور الإلكترون والتى تعمل زاوية α مع إتجاه مجال الأرض، ايضا يوضح دوران المتجه الذى يوضح كيفية إتجاه تردد المجال المغناطيسى المتغير أثناء كل دورة تذبذبية. ويلاحظ أن هذا المتجه دائما يشير فى إتجاه مختلف عن إتجاه مجال الأرض. وعندما يضبط تردد التعاقب (التناوب) للمجال المغناطيسى ليتفق مع تقدم تردد الإلكترون فإن المتجه يدور عند نفس المعدل كحركة محور المغزل حول مخروط تقدمه. وتكون النتيجة قوة ثابتة فى إتجاه الخارج والتى تمثل دوران محور المغزل لزاوية كبيرة مميزة لمدار A_1. لأى تردد آخر فإن القوة تبدو بواسطة تردد المجال المغناطيسى والتى تكون دوراتها من الإتجاه الداخلى للإتجاه الخارجى مسببة إرتجاف أكثر من إزاحة إستمرارية زاوية مغزل المحور. ولذلك عندما يتوافق التيار فى الملف بالضبط مع تقدم التردد فستزاح الإلكترونات من المدارات A_2 إلى A_1. ويكتسب الإلكترون المزاح حديثا قدرة لإمتصاص طاقة ضوئية عند لحظة وصوله مدار A_1. وتكون النتيجة المباشرة نقص فى شدة الشعاع المكتشف بواسطة الخلية الكهروضوئية. هذا التغير فى الشدة يشير لنظام تسجيل تردد التيار والذى يتفق الآن مع تقدم تردد الإلكترون. وتكبر هذه القيمة بواسطة بوصلة مغناطيسية (جيرمغناطيسية) الكترونية نسبية للحصول على شدة المجال المغناطيسى الأرضى.

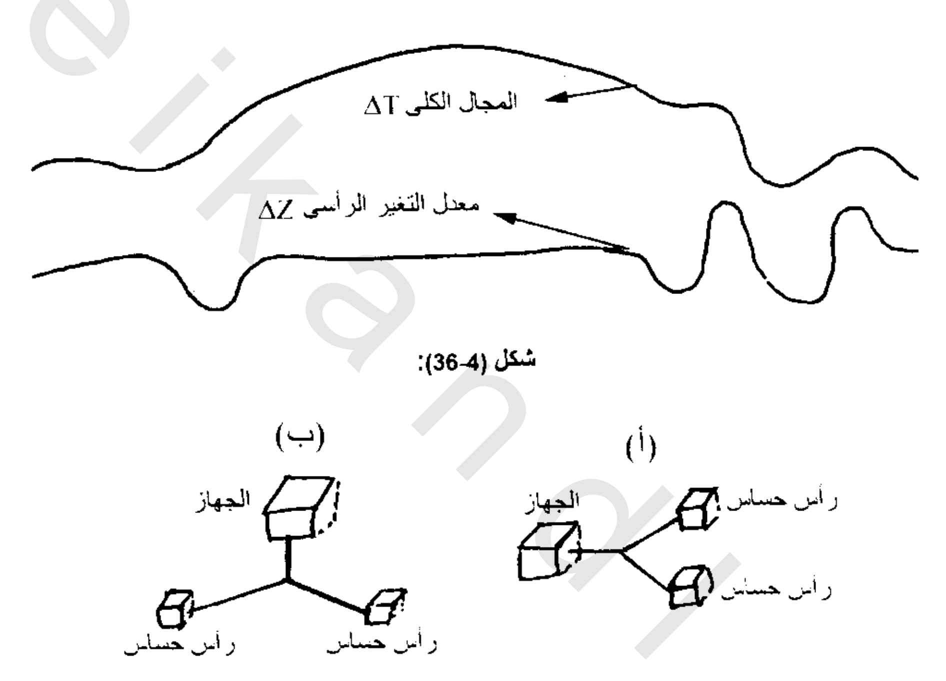


شكل (4-35): أ) تغير زمن القوة بواسطة مجال مغناطيسى متردد على تقدم الإلكترون فى حجرة بخار السيزيوم، ب) تأثير القوة على دوران محور مغزل الإلكترون من زاوية طاقة منخفضة αA_2 لـ αA_1 بمد تذبذب لمجال مغناطيسى متردد وبنفس تقدم تذبذب الإلكترون لكى تؤثر قوة ثابتة متجه للخارج لتدير محور مغزل الإلكترون

وقد صممت مغناطومترات ضخ ضوئى للمسح الجوى وكذلك لعمليات الرصد الدائم، وتقيس هذه الأجهزة المجال الكلى للأرض فقط. وتوجيه الوحدة الحساسة (سنسور sensor) غير مهم، ولكن المجال المغناطيسى المتردد يجب أن لا يكون موازى (فى صف) للمجال الأرضى. وبإمكانية هذه الأجهزة القياس فى أقل من ثانية، وذلك لأن الكتلة الصغيرة جدا للإلكترون تجعل تردد دورانه أعلى جدا من البروتون. وحيث أن المجال الأرضى يتراوح تقريبا ما بين 90 إلى 245 كيلوهرتز فإن هذا النظام يقيس بتوافق كاف شدة المجال بدقة تصل إلى 0.01 جاما.

4.3.1.5.4 مغناطومترات معدل التغير Magnetic Gradiometers:

تستخدم هذه المغناطومترات لقياس معدل التغير فى المجال المغناطيسى وليس المجال نفسه أى يراد معرفة تغير المجال المغناطيسى مع الإرتفاع عن سطح الأرض أو التغير الأفقى على سطح الأرض لأن معدل التغير فى الشاذة المغناطيسية يفصل بين الشاذة الإقليمية (regional) والمحلية (local)، فإذا كان الجسم المسبب للشاذة صغيرا وقريبا من السطح أحدث شاذة عالية القيمة (high amplitude) سريعة التذبذب (high frequency) بينما الشاذة الإقليمية تكون ناتجة من أجسام كبيرة ممتدة وعميقة (صخور القاع والألواح البازلتيه) فإن الشاذة تكون منخفضة القيمة بطيئة التردد، ومعدل التغير الرأسى أو الأفقى هو الذى يفصل بين هذين النوعين من الشاذات كما فى شكل (4-36).



شكل (4-36):

شكل (4-37):

وتتكون الأجهزة (مغناطومتر بروتونى أو جهاز الضخ الضوئى أو شابه ذلك من الأجهزة) التى تقيس هذا المعدل من رأسين حساستين للقياس بوضع أحدهما أعلى من الآخر بمسافة ثابتة أو يبعد عن الآخر بمسافة أفقية ثابتة* (شكل 4-37). وفرق القرائتين بين الرأسين ثم القسمة على المسافة بينهما تعطى معدل التغير ويكون التغير الرأسى $\Delta T/\Delta Z$ والتغير الأفقى $\Delta T/\Delta X$ وتكون الشاذة فى هذه الحالة خالية من التغير اليومى والتغير عند نقطة الأصل وأى تغيرات أخرى، ويفضل القياس بالمعدلات gradiometer فى حالة القياسات المكثفة التى تحتاج لعدد كبير جدا من القراءات المغناطيسية كالتنقيب عن الآثار أو القياسات الجيوتقنية.

* فى الأجهزة البسيطة يمكن القراءة براس واحدة حساسة مرتين على إرتفاعين مختلفين أومسافتين أفقيتين مختلفتين وحساب الفرق بينهما.

2.5.4 طرق المسح المغناطيسى Methods of Magnetic Survey:

هناك ثلاثة طرق للمسح المغناطيسى:

1- المسح الأرضى Ground Magnetic Survey.

2- المسح الجوى Ground Magnetic Survey.

3- المسح البحرى Aeromagnetic Survey.

4- مسح مغناطيسى بالأقمار الصناعية Satellite Magnetic Sruvey*.

1.2.5.4 المسح الأرضى Ground Magnetic Survey:

من أهم الأجهزة والذى استعمل لزمن طويل هو الميزان المغناطيسى من نوع شميت Schmidt type (شكل 30أ)، وأيضا من أكثر الأنواع استعمالا للآن كوسيلة للمساحات الأرضية والمصمم لقياس المركبة الرأسية للمجال الأرضى، أو المركبة الأفقية عند خطوط عرض ذات مغناطيسية منخفضة. فى السنوات الحديثة زاد إستخدام جهاز بورتون للقياسات الأرضية.

العمليات الحقلية فى الإستكشافات المغناطيسية عن البترول عادة تكون مختلفة بعض الشئ عن تلك المستخدمة فى إستكشافات المعادن والآثار ودراسات الجيولوجيا الهندسية. ففى البحث عن البترول تكون المسافات بين المحطات أكبر منها كثيرا عن طرق البحث الأخرى كالبحث عن المعادن والآثار ودراسات الجيولوجيا الهندسية**. ويجب أن تقام محطات القياس على مسافات آمنة من جميع الأدوات الحديدية التى تتعارض مع المجال العادى فيجب أن تبعد محطات القياس عن هذه الأدوات بحوالى 125 متر والسيارات فى حدود 30 متر والأسوار السلكية (خاصة فى الإتجاه الشمالى-الجنوبى) فى حدود 35 متر. كذلك يجب الإبتعاد عن خطوط الكهرباء ومحطات الكهرباء والكبارى والبرابخ والمنازل. بالإضافة لذلك على القائم بالعمل المسحى أن يحمل أقل ما يمكن من المواد الحديدية والمغناطيسية الخاصة به.

1.1.2.5.4 العمليات الحقلية Field Operation:

1- يستوى الجهاز أفقيا على القاعدة ذات الأرجل الثلاثة بواسطة تحريك هذه الأرجل. ويضبط الوضع الأفقى بواسطة العين الفقاعية الموجودة على الجهاز (حهاز شميت). أما فى الأجهزة الإلكترونية فعملية الضبط هذه غير هامة.

2- يحدد الزوال المغناطيسى (إتجاه الشمال المغناطيسى) بواسطة بوصلة خارجية ويوضع الجهاز موازى للزوال المغناطيسى.

3- بعد ذلك تؤخذ قراءة الجهاز ثم يدار الجهاز 180^{o} وتؤخذ قراءة أخرى.

4- تؤخذ بعد ذلك متوسط هاتين القراءتين.

---

* ويغطى هذا المسح الكرة الأرضية كلية.

** فى حالة البحث عن البترول، عادة تكون المسافة بين المحطات فى حدود 1 كيلومتر – 1.5 كيلومتر، فى حالة البحث المعدنى تكون المسافة بين المحطات حوالى 25 متر، أما فى حالة دراسة الجيولوجيا الهندسية والبحث عن الآثار فتقل القيمة بين المحطات كثيرا وقد تصل إلى Ω متر.

5- توخذ قراءة درجة الحرارة لعمل تصحيح درجة الحرارة.

6- يربط النظام المتحرك بالجهاز ويعد للإنتقال لمحطة أخرى. ومن الضرورى أن تتم العمليات السابقة بدقة وعناية وأيضا تؤخذ صورة من القراءات الأصلية.

2.1.2.5.4 معايرة الجهاز Calibration of the Instrument:

يتم هذا بوضع الجهاز فى مجال منتظم معروف. ومن أحسن الطرق للحصول على مجال مغناطيسى منتظم يتم بواسطة ملف هو لهمولتز Helmeholiz coil*.

3.1.2.5.4 إختزال (تصحيح) النتائج المغناطيسية Reduction of Magnetic Data:

1.3.1.2.5.4 تصحيح درجات الحرارة Temperature Corrections:

ينتج التغير فى قراءات الجهاز فى المكان الواحد بوضعه خارج الحجرات (المعامل) وذلك لتغير درجات الحرارة من إرتفاع أو إنخفاض. فى الأنواع الأخرى الغير مكافأة للإتزان الحقلى (جهاز شميدت)، يوجد معامل حرارى حوال 8 جاما (γ)/**درجة حرارة ($8\gamma/1C^o$) والتى تنشأ من التمدد أو النقصان وكذلك بواسطة التغير الحرارى فى العزم المغناطيسى نفسه. فى الأجهزة الحديثة المكافئة، فإن تأثير التغير الحرارى يكون أقل من 1/10 القيمة الكبيرة السابقة. فى حالة أخرى تصحح قراءة شدة المجال إلى درجة حرارة عيارية (20^o) بواسطة إستخدام معامل نظام حرارى.

2.3.1.2.5.4 التغير اليومى Diurnal Correction:

هذا التغير تصل قيمته إلى أكثر من 100γ ولذلك لابد من اختزاله (تصحيحه) من النتائج المأخوذة بالمغناطومترات الحقلية* وهذا يتم عمله بعدة طرق:

1.2.3.1.2.5.4 إذا إستخدم جهاز واحد للقياس A Single Instrument is Available:

أ) إذا كانت الدقة العالية غير مطلوبة**، وفى هذه الحالة تحدد العودة التقريبية للمجال الأرضى*** عند أى وقت من منحنيات مقياس التغير (مغناطومتر) المحسوبة عند بعض الأماكن بالولايات المتحدة الأمريكية مع الأخذ فى الإعتبار أن هذا التصحيح يعنى أنه غير ملائم للعمل الدقيق فى أى مكان ولكن فى أماكن متجاورة لمحطتين (مكانى مراقبة). وهذا يأتى من حقيقة أن المنحنى مختلف غالبا عشرات الجاما عند أماكن فقط لقليل من أبعاد مئات الأميال.

ب) باستخدام هذا الجهاز المفرد، يتم التصحيح بالرجوع إلى محطة القاعدة (المحطة الأولى) كل ساعتين وينشأ منحنى التغير لهذه المحطة ويتم هذا كل يوم عمل بواسطة رسم القراءات عند هذه المحطة مع الزمن. وربما يهمل عدم التغير لأكثر من 10γ خلال الفترات بين إعادة العمل فى محطة القاعدة ولهذا فإن هذه الطريقة لايعتمد عليها إذا كان الضبط ضرورى لقليل من الجاما.

---

* يتكون ملف هو لمهولتز من ملفين متساويين ومتوازيين والمسافة بينهما تساوى قطر الملف.
** (γ) جاما هى وحدة القياس المغناطيسى حيث أن واحد أورستيد = 10^5 جاما.
* هذه العملية تقابل ضبط الإنحراف فى طريقة الجاذبية.
** كما فى المسح المنجمى.
*** محطة القاعدة (الأولى) Base Station.

2.2.3.1.2.5.4 إذا إستخدم جهازين Two Instruments are Used:

يوضع أحد الأجهزة عند محطة القاعدة ويؤخذ القراءات على فترات منتظمة، وينشأ المنحنى اليومى لهذه القراءات بحيث تكون مرجعا للقراءات فى المحطات الأخرى.

3.2.3.1.2.5.4 إذا إستخدم ثلاثة أجهزة Three Instruments are Used:

يوضع جهازين عند محطتين قاعدتين وتؤخذ القراءات على فترات منتظمة، وينشأ المنحنى اليومى**** لهذه القراءات لكل محطة قاعدة بحيث يكونين مرجعا للقراءات فى المحطات الأخرى.

4.1.2.5.4 التصحيح العادى Normal Correction:

يعمل هذا التصحيح للتغير الناتج من التغير الدائم فى القيمة والإتجاه للمجال المغناطيسى الأصلى والذى يحدث من مكان لآخر. هذا التغير تابع فى نفس الوقت للتغير فى الجاذبية مع خطوط العرض ولكن يختلف فى طريقتين:

أ- لايوجد معاملات منتظمة لخطوط العرض والطول كما فى الجاذبية.

ب- تغير مغناطيسى عبر مسافات مأخوذة أكبر بكثير من وضع المجال الكلى.

وربما يهمل هذا التصحيح إذا كان المسح تفسيريا* حيث يتأثر هذا التصحيح بالمقياس الإقليمى. ويمكن عمل هذا التصحيح على المقياس الإقليمى بواسطة طرق تشبه تماما التى تستخدم لإزالة الإتجاه الإقليمى فى التفسير الجاذبى وذلك بمساعدة خرائط وجداول منشأة ومقامة لهذه الأغراض.

ويمكن إجراء هذا التصحيح بطريقة أخرى وفيها تختار محطة مغناطيسية مثلا لكل عشرة محطات منتظمة فى عملية التنقيب ثم يتم عمل خطوط كنتورية لقراءة هذه المحطات فقط، وفى النهاية تسوى (smoothing) خطوط الكونتور على أساس جميع القراءات. يطرح الفرق بين قراءة الكنتور الأساسى والكنتور المسوى، وتفسر الخريطة الناتجة بالشواذ الهامة.

5.1.2.5.4 تصحيح التضاريس Terrian Correction:

فى حالات نادرة يؤخذ هذا التصحيح فى الإعتبار عندما تكون الصخور السطحية مغناطيسية، ومسببة عدم إنتظام للتضاريس، نتيجة لذلك يوجد تغير فى قراءة المغناطيسية مشابهة للتغير فى الجاذبية الناتجة من تغير حدود التضاريس. فسر هايلاند Heiland 1968 كيفية تصحيح التضاريس المغناطيسية بنفس الطريقة العامة كالمستخدمة فى العمل الجاذبى مع افتراض أن الهضاب والوديان لها نفس الشكل الهندسى البسيط.

2.2.5.4 المسح الجوى Aeromagnetic Survey:

لعمل هذا المسح تستعمل الأجهزة الإلكترونية التى غالبا لاتحتاج لتوجيه معين. وأيضا تقيس هذه الأجهزة المجال الكلى Total Magnetic Field وأهم هذه الأجهزة:

**** إذا كان كلا من المنحنين موازى أو قريبا للتوازى من الاخر فهذا يدل على أن كلا المرجعين مضبوط ويتم التصحيح بإحداهما.
* على مسافات قصيرة.

1- مغناطومتر ذو بوابة الفيض (ذو فتحة التدفق) Flux Gate Manetometer

2- المغناطومتر النووى Proton Magnetometer

3- مغناطومتر الضخ الضوئى Optical Pumping Magnetometer

ويتم القياس بتعليق رأس المقياس (sensor) للأجهزة السابقة فى كابل يبعد عن الطائر بحوالى 30 متر لكى لاتؤثر الطائرة والأجهزة بداخلها على المجال المغناطيسى عند رأس القياس، ويوضع الرأس فى صندوق انسيابى يقلل من دفع الهواء أثناء الطيران ومزود أيضا بزعانف لكى لايدور حول نفسه أثناء الطيران، ويسمى هذا الصندوق والرأس داخله (الطائر Bird). وأحيانا يوضع رأس الجهاز فى مكان مثبت بعمود طويل غير مغناطيس ممتد من مؤخرة الطائرة. وغالبا ما يقاس مع المساحة المغناطيسية قياسات كهرومغناطيسية أو إشعاعية إستغلالا للطيران. وفى هذا المسح يجب أن تطير الطائرة بسرعة منتظمة أو أن تحسب سرعتها مع سرعة الجهاز فى تسجيل القياسات بحيث تعرف قيمة المجال بالضبط عند النقط المختلفة على امتداد خطوط القياس أو أن يكون هناك أجهزة تحديد الموقع navigation بحيث نعرف موقع كل رصده على إمتداد منطقة الرصد. وتسجل القياسات باستمرار على شريط مغناطيسى أو شريط مثقب أو راسم (قلم) يرسم على شريط ورقى متحرك بسرعة منتظمة شكل (4-38).

شكل (4-38): أنواع بسيطة لتغير مغناطومتر رنين نووى يوضح الجزء الأسفل شريط لتمثيل مستمر نسبى، والشريط الأعلى تسجيل عددى مكافئ فى شكل علاقة نقطية

1.2.2.5.4 تحديد أماكن محطات الرصد Determination of Position Location:

لتخريط نتائج المغناطيسية الجوية من الضرورى مقارنة جميع قراءات المجال الكلى مع مكان مستوى لحظة أخذ القراءة وهناك طريقتين لذلك:

1.1.2.2.5.4 طريقة شوران Shoran Method:

نظام إلكترونى لتحديد موقع أخذ القراءة المغناطيسية بالطائرة. فى هذا النظام توضع محطتين ارضيتين لاستقبال الموجات النبضية أو المستمرة من محطة إرسال بالطائرة ثم بثها مرة أخرى من المحطتين الأرضيتين للمحطة بالطائرة والتى تستقبلها، ومن فرق زمن إرسال الأشعة (موجات دقيقة micro-waves) من محطة الطائرة ثم استقبالها وسرعة الطائرة يمكن حساب مكان الرصد. ومن ترددات الأشعة العائدة من المحطتين الأرضيتين للطائرة يمكن حساب سرعة الأرض. ويحدد إتجاه الموضع المأخوذ عنده القراءة المغناطيسية بواسطة نوع خاص من البوصلة المغناطيسية ويتم الحفاظ على هذا الإتجاه بواسطة جيرسكوب توجيهى. دقة هذا النظام تكون فى أعلى مراتبها عندما يكون الخطأ جزء فى الألف. ربما لايكون هذا النظام بدرجة دقيقة عند الطيران بارتفاع أقل من 350 قدم.

2.1.2.2.5.4 طريقة التصوير الجوى Aerial Photography Method:

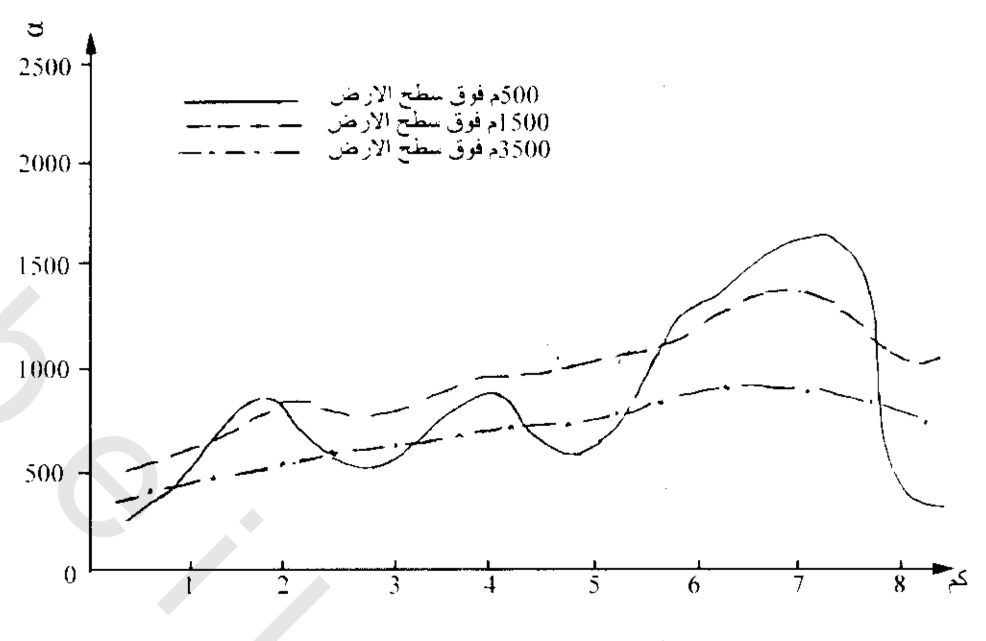
فى هذه الطريقة تستعمل عموما آلات تصوير ذات ترابط مستمر. فى أحد أنواع آلات التصوير يستعمل ميقته الكترونية لتحديد فترات الزمن على جميع التسجيلات. وهذا ينتج علامات إسناد عند أى فترة مطلوبة إبتداء 1-120 ثانية. وتطبع أيضا هذه العلامات على شرائط الورق المتحركة التى تحتوى على تسجيل الشدة المغناطيسية وتسجيل الإرتفاع. وعندما تكون الظواهر المرسومة على الخرائط معروفة جيدا من الطائرة فإنه من الممكن توقيع المواقع على الخريطة بالقياس المباشر من الطائرة وتتم هذه العملية من تسجيل القيمة المغناطيسية مع تحديد الموقع الأرضى بواسطة طائرة ذات سرعة منخفضة على إرتفاعات قليلة من الأرض. هذه الطريقة غير مناسبة على المياه أو فى مجال القطب الشمالى والجنوبى أو مناطق الغابات الممطرة.

2.2.2.5.4 إرتفاع خط الطيران Heigh of Flight Path:

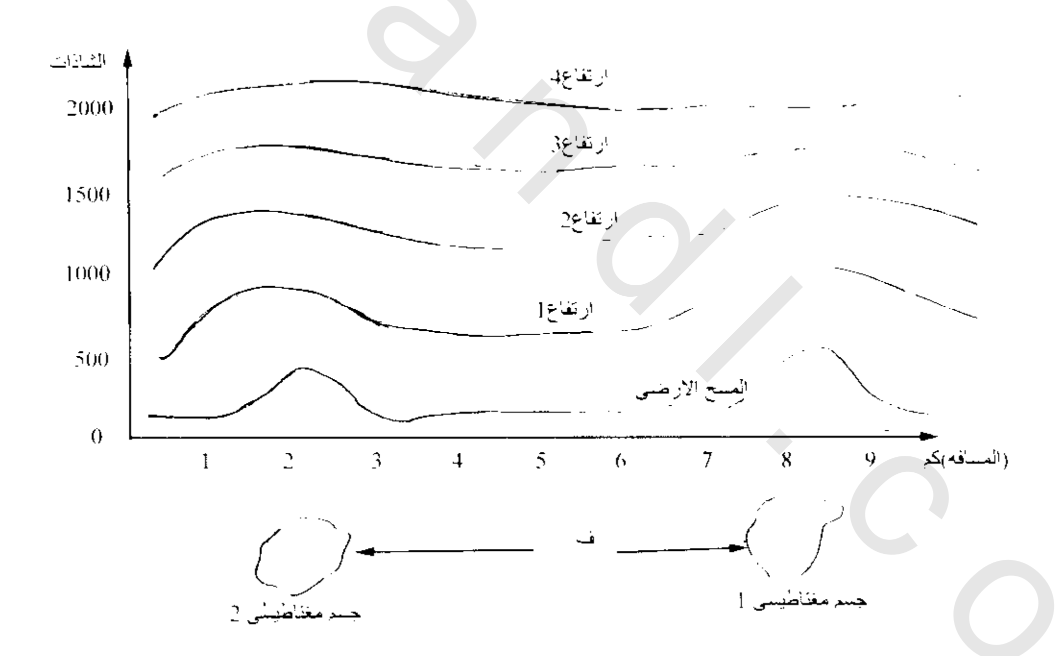
فى البحث والتنقيب عن البترول أو معرفة شكل صخور القاع والتركيبات العميقة، فعادة ما يكون إرتفاع الطيران تقريبا ثابتا من سطح البحر. وفى حالة البحث المنجمى (المعدنى) يجب أن يكون الإرتفاع دقيقا ويكون عادة مرجع الإرتفاع سطح الأرض. ومن المستحسن إستخدام طائرة هيليوكبتر لكى يسهل ضبط إرتفاعها بحيث يكون متساويا تماما وموازيا لتضاريس المنطقة المسموح بها. ولو أنه من الصعوبة بمكان ضبط إرتفاع الطائرة، لهذا يجب أن تكون هناك أجهزة لتحديد إرتفاعها. لأنه عادة تتغير الإرتفاعات تبعا لنوعية البحث، ففى حالة البحث عن البترول والتراكيب العميقة فإن تذبذب الإرتفاع بالقطع يكون صغيرا. أما فى حالة البحث المعدنى فإن تغير الإرتفاعات يحدث كثيرا تبعا للتضاريس ويجب أن يكون التذبذب فى إرتفاع الطائرة أقل بكثير من الإرتفاع عن سطح الأرض. يرى شكل (4-39) ثلاثة خطوط طيران عبر رسوبيات مغناطيسية عند إرتفاعات ما بين 500 متر إلى 3500 متر فوق سطح الأرض. تقاس القمة المغناطيسية الحادة جدا بالقرب من مركز البروفيل ذا ارتفاع 500 متر وتصبح الحادة غالبا غير ملاحظة عند إرتفاع 10,000 متر. وكلما زاد إرتفاع الطيران، تندمج الشاذات ويقل تاثيرها المغناطيسى من المصادر التحت سطحية القريبة. ويوضح شكل (4-40) التأثير المحدد لمجموعات الشاذات، ومن الشكل يمكن إستنتاج الإرتفاع الذى يجب عنده الطيران لتجنب خطأ أعمال الظواهر الجيولوجية المفردة. النموذج الأكثر إستعمالا فى الطيران يتكون من شبكة مستطيلة، وتكون الخطوط متقاربة فى إتجاه أكثر من الإتجاه الآخر، وعادة ما تكون الخطوط المتقاربة عمودية على المضرب المغناطيسى للمنطقة أو مع الظواهر* التى يجرى رسمها. ويجب أن تكون الإنحرافات حتى 30° من العمودى لكى تكون القراءات صحيحة.

بالقرب من خط الإستواء المغناطيسى فإن المجال المغناطيسى للأرض يكون تقريبا أفقيا، والأقطاب التأثيرية تكون موزعة بطول الأسطح المطولة فى إتجاه شرق-غرب. فإذا كانت الإتجاهات الجيولوجية شمال-جنوب فإن الشاذات المغناطيسية لن تعكس التركيب جيدا لأن السطوح المطوله فى المستويات الراسية الموجهة فى هذا الإتجاه لن تؤدى لتراكم الحفظ فى كثافة الأقطاب المغناطيسية.

* هذا المضرب والظواهر تتبع عامة الإتجاه التركيبى للصخور النارية أو المتبلورة فى المنطقة.



شكل (4-39): تأثير الإرتفاعات على نتائج المسح الجوى المغناطيسى



شكل (4-40): تحليل الشاذات المغناطيسية من جسمين مغناطيسيين على بعد مسافة (ف)، بروفيل مغناطيسى عند سطح الأرض وأربع بروفيلات لارتفاعات طيران مختلفة

3.2.2.5.4 المسافات بين خطوط الطيران Distance Between Flight Lines:

هذه المسافات تكون محكومة الأشكال، والأبعاد، وأعماق الأهداف التى يجرى من اجلها المسح المغناطيسى الجوى فمثلا:

أ) إذا كان مصدر الشاذة المغناطيسية محدود وضيق الموضع مثل عمود رأس (اسطوانة رأسية) أو جسم صغير من الخام على شكل كرة، سوف تظهر لشاذة على هيئة كنتورات دائرية، نصف عرضها سيكون تقريبا نصف عمق مركز الكرة. فى هذه الحالة يجب أن تكون المسافة بين خطوط الطيران تساوى أو تقل عن نصف قيمة الذروة للشاذة، لكى يكون تقدير الأعماق والمعاملات الأخرى للأجسام المدفونة صحيحة.

ب) يمكن قياس الشاذات المطولة على أكثر من خط فى حالة إذا كنت الخطوط العرضية متعامدة مع المضرب وقد بين أجوكس Ajox 1955 نتيجة لدراسة إحصائية المسافات اللازمة لكشف شاذة لها حجم معين ومثال لذلك خام ماتاجامى Mattagami فى منطقة كوبيك Quebic بكندا حيث لم تظهر الشاذة بوضوح عندما كانت المسافة بين خطوط الطيران Ω ميل ولكن بخطوط طيران متباعدة بـ o ميل أعطت النتائج مؤشرا حسنا للشاذة. شكل (4-41) يحدد نموذج الطيران بطبيعة الشاذات التى يراد البحث عنها وكذلك بمواقع المحطات الأرضية للأسناد فى عملية تحديد المواقع وعلى الأخص بقيمة التغيرات اليومية التى تسبب اقفالا خاطئا حول الحلقات أو الدورات.

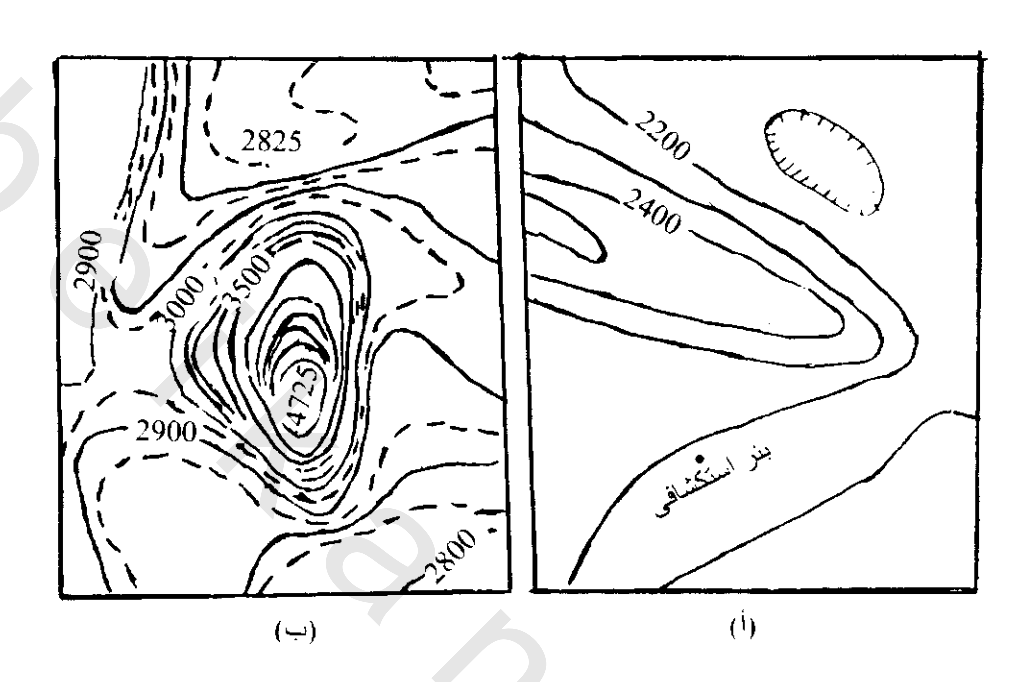
شكل (4-42) يوضح النموذج الأكثر شيوعا حيث يتكون من مجموعات متعامدة من إتجاهات الشمال-للجنوب والتى تبعد عن بعضها البعض بمسافة تتراوح عادة بين 5-10 ميل يتم الطيران فيها تباعا وبعدها يتم اجتيازها عموديا فى إتجاه شرق-غرب أو العكس بالعكس. يتم ضبط التغير اليومى عند التقاطعات بواسطة المربعات الصغرى للاقلال إلى الحد الأدنى للإقفال الخاطئ حول الحلقات الفردية.

وهذا موضح فى الشكل الخاص بالحلقات الأربع فى الشمال الغربى من الشكل. الفروق فى المجال المغناطيسى المقاس يتم تعيينها من شرائط التسجيل لكل جانب من المستطيلات. إذا لم توجد إزاحة أو تغير يومى فإن الفروق سوف تكون صفرا حول الحلقة، الأقفال الخاطئ الفعلى المكتوب داخل المستطيل تخزن فى الحاسب الآلى والضبط الخاص بها الذى يحدد بالمربعات الصغرى، يوزع بانتظام على مسار الطيران كله. وهناك عدة أساليب حسابية لعمل هذه التصحيحات منها طريقة جبسون Gebson 1941. هذه الطريقة لاتصحح الأخطاء التى تسببها التغيرات اليومية التى تحدث عند اجتياز الطيران نقط الربط* ويمكن التنبؤ بهذا الخطأ عن طريق الربط بين خط الربط وسرعة الطائرة.

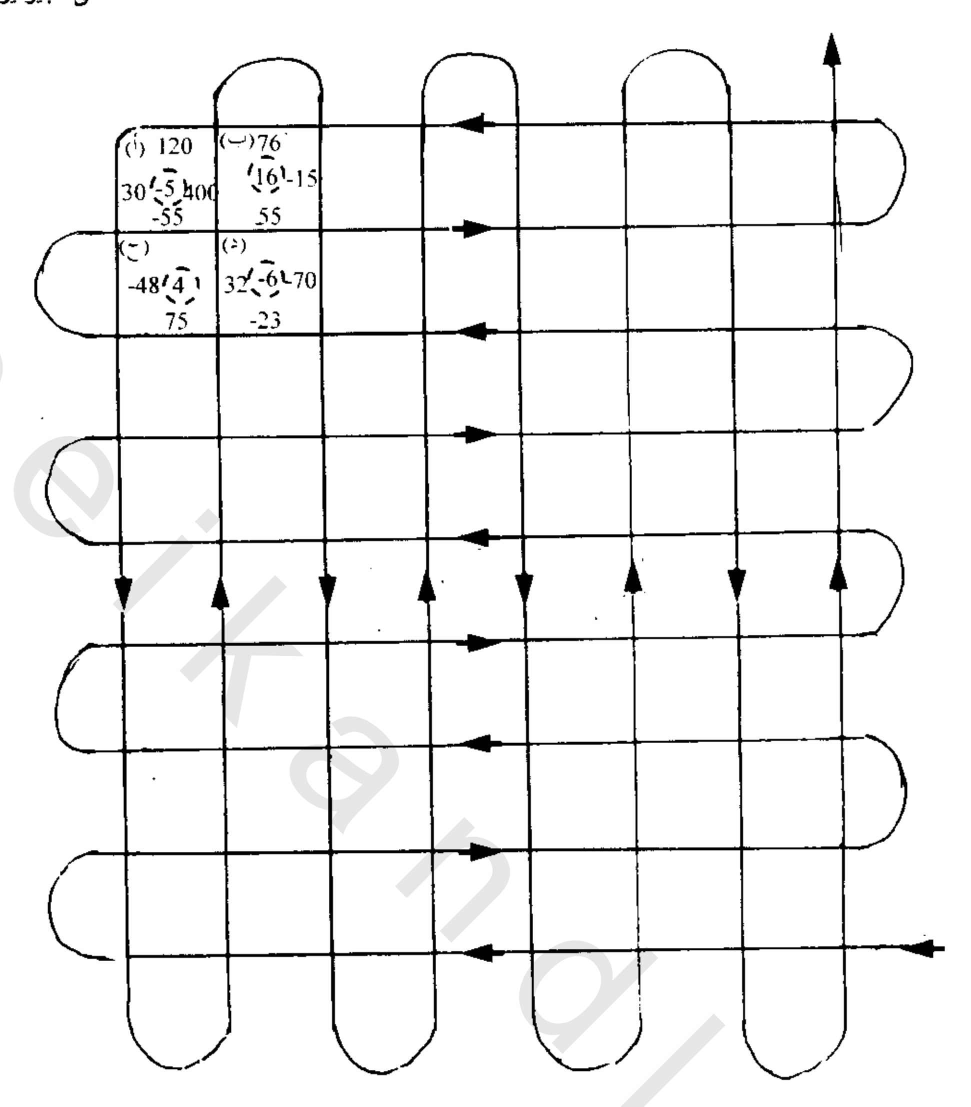
لمعظم العميات يوجد جهاز قياس مغناطيسية أرضى للتسجيل المستمر فى محطة قاعدة بالقرب من منطقة المساحة لمراقبة التغيرات المغناطيسية الأرضية المحيطة. وهذه المحطة يمكن استعمالها للتصحيحات اليومية، والوظيفة الأخرى لهذا الجهاز هى مراقبة العواصف المغناطيسية، عندما تبدأ هذه العاصفة فإن التسجيل من الجو

* يتم القياس مرتين عند نقط الربط (التقاطع) ويجب أن تكون القياسات متساوية فإذا لم تكن متساوية كان ذلك نتيجة للتغير اليومى فى المغناطيسية الأرضية.

يتوقف حتى تعود الأحوال إلى حالتها الطبيعية. وعندما يتطلب الأمر دقة عالية، فإن المراقبة الأرضية تستعمل للتأكد من أن معدل التغير اليومى هو معدل خطى أثناء الطيران، حتى يمكن توزيع الفروق حول الإطارات بدون خطأ كبير. إذا زاد الحيود من الخطية عن المواصفات فإن المساحة ربما يكون من الواجب إعادتها.



شكل (4-41): مقارنة الصور المغناطيسية التى تم الحصول عليها فوق منطقة الكريتور ماتاجامى فى كويبك بكندا بمسافات: أ) Ω ميل أعطت شكلا أفقيا عاليا لـ 200 جاما فى إتجاه عكسى من الغرب ، ب) ° ميل أظهرت شاذة مرتفعة وكانت هذه الشاذة مسئولة عن أكبر اكتشاف الكبريتورات فى كندا!



شكل (4-42): نموذج طيران قياس لإلغاء التغير اليومى والأخطاء الأخرى، الأرقام حول المستطيلات فى اليسار الأعلى (أ، ب، جـ، د) تبين طريقة ضبط الأخطاء، الأرقام الموجودة فى الجوانب هى الفروق بالجاما للمجال الكلى بين الأركان المتجاورة. الأرقام فى الوسط تبين الأقفال الخطائ حول كل حلقة فمثلا فى المستطيل أ) بالجمع الجبرى -120+30=55-100-5،

وفى المستطيل، ب) بالجمع الجبرى 55+76-15+100=16

وفى المستطيل ، جـ) بالجمع الجبرى 75+32+55-48=4 ،

وفى المستطيل ، د) بالجمع الجبرى 6-=23-70-55+32 ويتم ضبط القيم عند الأركان بالمربعات الصغرى للإقلال من الأقفال الخاطئ

3.5.4 المسح المغناطيسى البحرى Oceanic Magnetic Survey:

تتم هذه المساحة فى المياه الإقليمية أو أعالى البحار* وذلك بوضع رأس الجهاز** فى صندوق صغير بواسطة كابل خلف السفينة وطول هذا الكابل يعتمد على حجم السفينة فهى تتراوح ما بين 30 متر، 300 متر، أى تحسب المسافة التى ينعدم عندها تأثير جسم السفينة مغناطيسيا. ويحمل الكابل على عوامات حتى لايتدلى فى

*يتم هذا المسح تقريبا بنفس الطريقة التى يتم بها المسح المغناطيسى الجوى.

**يستخدم مقياس الشدة المغناطيسية البيروتونى فاريان (Varian) المصمم للسحب بالسفن.

الماء ويقطع بأى عوائق تحت سطح الماء. وتسجل القياسات بأجهزة الكترونية على السفينة نفسها. وقد يقاس أيضا معدل التغير الأفقى Horizontal gradient بواسطة رأسين يجران خلف بعضهما ويمكن قياس معدل التغير الرأسى vertical grad عن طريق تركيب عمود طويل فوق جسم السفينة يحمل رأسين أحدهما يعلو الآخر وعادة ما تكون السفينة مصنوعة من مواد قليلة أو منعدمة التمغنط.

وعادة ما يصاحب القياس فى السفينة إجراء قياسات سيزمية فى البحر أو قياسات جاذبية وغالبا ما تتحكم القياسات السيزمية فى مسار السفينة وشكل البروفيل المقاس. أما إذا كان الغرض الرئيسى من الرحلة هو إجراء القياسات المغناطيسية ففى هذه الحالة لاتختلف المساحة المغناطيسية فى البحر عنها فى الجو.

الفصل الخامس

طرق المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك)

Paleomagnetic Methods

1.5 مقدمة Introduction:

تهتم المغناطيسية القديمة (باليومجنيتيك paleomagnetic) بدراسة المتبقيات الطبيعية للمغناطيسية Natural Remanent Magnetization (NRM) للصخور لكى تقدم معلومات ملائمة حول المجال المغناطيسى الأرضى فى الأزمنة الجيولوجية. ونتائج الدراسات الحديثة فى هذا المجال من علم الجيوفيزياء أمدنا بمعرفة كبيرة حول تاريخ المجال المغناطيسى بما فيه إنعكاس أقطابه. وقد قدمت تطبيقات المغناطيسية القديمة (الباليومجنيتيك paleomagnetic) دلائل كمية عن نظريات هامة مثل إزاحة القارات (continental drift) تباعد قاع المحيطات (sea-floor speading) وحركة الألواح (plate tectonics). وحديثا استخدمت المغناطيسية القديمة (الباليومجنيتيك paleomagnetic) بكثرة كأداة لدراسة تركيب ومقارنة للمشاكل الجيولوجية المحلية.

2.5 المغناطيسية المتبقية فى المعادن والصخور Remanent Magnetk ation in Minerals and Rocks:

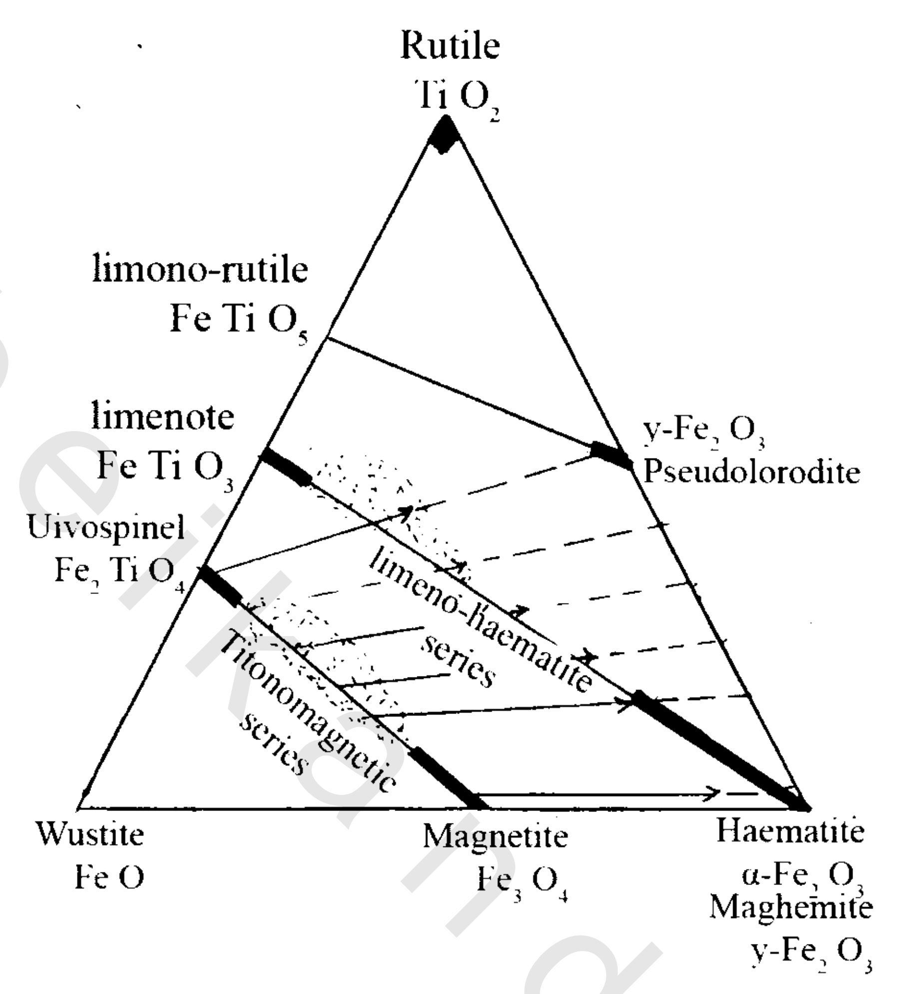
من بين الخواص الهامة للفيرومجنيتيك ferromagnetic فى دراسات المغناطيسية القديمة (الباليومجنيتيك paleomagnetic) هى المغناطيسية المتبقية J_i (remanent magnetization)، والجبرية H_c (coercivity).

1.2.5 مغناطيسية المعادن Magnetic Mineralogy:

عمليا، جميع المكونات التى تعطى مغناطيسية عالية للصخور تكون معادن حديدية أو محتوية على إضافات معادن حديدية هذه المعادن تنقسم إلى مجموعتين فى الكيمياء الأرضية (جيوكيمياء Geochemical).

1.1.2.5 مجموعة حديد Iron- تيتانيوم Tetanium – أوكسجين Oxygen:

من الأفضل، تمثيل خواص هذه المجموعة الكيميائية والمغناطيسية فى نظام ثلاثى (FeO-Fe_2O_3-TiO_2) كما فى شكل (5-1).



شكل (5-1): شكل هندسى ثلاثى لتركيبات أكاسيد حديد تيتانويم شائعة يوضح سلسلة محلول -صلب (الخطوط الثقيلة). وتوضح إتجاه زيادة الأكسدة مع نسبة ثبات Fe/Ti

فـى هـذا الـشكل الخـط المـستقيم الواصـل بـين Fe_2O_3 و $FeTiO_3$ والخـط المـستقيم الواصـل بـين Fe_3O_4 وFe_2TiO_4 يمثلان أهم سلسلة صلبة-محلول مشاركة غالبية للمعادين المغناطيسية فى الصخور. هذه المجموعة، مسببا، تدل كمجموعة α, β.

أعـضاء مجموعـة α تتـراوح فـى التركيـب مـن هيماتيـت (α-Fe_2O_3) إلـى المنيـت ($FeTiO_3$) وتركيبهـا رومبوهـدرال Rhombohedral. يكـون تمغـنط الهيماتيـت عكـسفيرومجنيتيك Antiferromagnetic مـع تلاحـم احتـوائى مـن الفيرومجنيتيـك ferromagnetic بينمـا يتميـز الإلمنيـت بأنـه عكـسفيرومجنيتيك. تكـون المغناطيـسية الذاتيـة (J_s) spontaneous magnetization للهيماتيـت والألمنيـت تكـون ضـعيفة جـدا بالمقارنـة بالمجنيتيـت. ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائى لسلسلة صلب-محلول كـ $(1-X)Fe_2O_3$, $(X)FeTiO_3$. وتتغير درجـة كـورى (نيل Neel) غالبـا خطيـا مـع زيـادة X مـن 675° درجـة منويـة لـ α-Fe_2O_3 إلـى 215° درجـة مئويـة لــ $FeTiO_3$. وتكـون الخـواص المغناطيسية لمحلـول الـصلب معقـد وحـساس للمعالجـة الحراريـة، والتـى تـسبب إنعكـاس ذاتـى للمغناطيسية شكل (5-10).

أهم نقطة حول الهيماتيت هـى التـى لهـا قـوة قهريـة icoercive forceî كبيـرة (H_C>10^5A/m). لهـذا الـسبب، برغم ضعفه المغناطيسى، يعتبر هام فى الباليومجنيتيك.

أعضاء سلسلة β تتراوح فى التركيب من ماجنتيت magnetite Fe_3O_4 إلى يلفوسبيند (Fe_2TiO_4) Ulvospind كلاهما يتكون من تركيب مغزلى عكسى ويشكل صلب-سائل تماما عند درجات الحرارة العالية (لها درجة حرارة كورى تبلغ 580° درجة). وتكون القوة القهرية، H_C، للحبيبات الكبيرة للمجانتيت منخفضة $(\sim 10^3 A/m)$ يكون لها استقرار مغناطيسى فى جزيئات الحجوم الدقيقة، لذلك يعتبر الماجنتيت أهم حامل للاستبقائية المستقرة. تقل درجة حرارة كورى T_C والمغناطيسية الذاتية خطيا كلما يتحرك التركيب من مذيب نقى إلى يلفوسبيند. ويمكن حدوث إحلال للكميات المعتبرة لأيونات التكافؤ المزدوج أوالتكافؤ الثلاثى فى التركيب المغزلى. توجد سلسلة لها تصور شبه مستقر من أكسيد حديد-تيتانويم بتركيب مغزلى ما بين سلاسل α ,β. ونهاية عضو هذه السلسلة هو ماجهيميت (Maghemite) γ-Fe_2O_3. يكون الماجهيميت النقى غير مستقر عند درجة حرارة فوق 300° بينما يتحول فى إتجاه واحد لليهماتيت، وربما تساعد بعض الشوائب لاستقرار تركيبه، ويوجد الماجهيميت فى كثير من أنواع الصخور المختلفة. يتكون الماجهيميت عادة فى الحمم المتدفقة عند درجات حرارة منخفضة 200°-300° خلال عملية التبريد وذلك عندما تتفاعل السوائل المتبقية مع الماجنيتيت، والذى يتأكسد لبعض امتداده بعد تكوينه عند درجات الحرارة العالية. ايضا يمكن أن يتكون فى بيئات رسوبية بواسطة تأكسد درجات الحرارة المنخفضة لأجزاء صغيرة من الماجنتيت فى وجود رطوبة. ظاهرا، يمكن أن يوجد غالبا تركيبات متوسطة والتى تسمى تيتانوماجهيمتيت (titanomaghemites).

مجموعة (حديد-كبريت) The Iron-Sulfur Group:

أكثر المعادن أهمية فى هذه المجموعة معدن بيرهوتيت (pyrrhetite) $(O<X<0.15,\ FeS_{1+x})$ وهو معدن فيريمجنيتك والذى يوجد أساسا فى الصخور الطبيعية. التركيب القياسى للفيريمجنيتك بيرهوتيت هو Fe_7S_8 وله نقطة كورى حوالى 320°، أيضا تكون الخواص المغناطيسية معقدة وسريعة التأثر للتركيب والمعالجة الحرارية، عندما تكون$X < 0.1$ يكون المعدن عكسفيرومجنيتك، وعندما تكون $X = 1$ يكون المعدن بيريت Pyrite، والذى يكون تركيبه مكعبى وبارامجنيتك.

مجموعة المعادن التى تشير إلى أكسيدات هيدروس حديد (hydrous iron oxides) عادة تسمى ليمونيت (limonites) وتوجد عادة فى الصخور المتحولة. الجيوثيت (Geothite) $(\alpha$-$FeOOH)$ هو أوكسهيدروكسيد (oxyhydroxide) تبعا للهيماتيت بينما ليبيدوكروسيت (lepidocrocite) $(\gamma$-$FeOOH)$ يكون أوكسهيدروكسيد تبعا للماجهيميت. هذه المعادن غير مستقرة حراريا ولذلك لها أهمية محدودة منفردة. يحدث الجيوثيت عامة فى أجسام خامات الحديد، ومشارك مع هيماتيت ومجنيتيت فى الصخور المتجوية. عندما يسخن فوق 120° ويبرد فى المجال الميحط، فإنه يكتسب متبقيات مستقرة بخواص مشابهة لمثل خواص الهيماتيت.

2.2.5 إكتساب انواع مختلفة من المتبقيات الطبيعية للمغناطيسية بواسطة الصخور

Acquisiton of Various Types of Natural Remanent and Magnetiz-ation (NRM) by Rocks:

تم عمل تقدم مهم خلال عشرات السنين الماضية فى تفسير العمليات المختلفة بواسطة المبتقيات الطبيعية للمغناطيسية (NRM) المكتسبة بواسطة الصخور وأغلب أهمية التفسير الجيوفيزيانى يكون كالآتى:

1.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الأيزوثرمال متساوى الحرارة

Isothermal Remanent Magnetization (IRM):

متبقيات مغناطيسية الأيزوثرمات هى متبقيات مكتسبة بواسطة صخور عند درجات حارة ثابتة. وعندما يطبق مجال خارجى لفترة زمنية قصيرة ويزال بعد ذلك كالتى تعطى أثناء ظهور حلقة التخلف المغناطيسى (شكل 4-5)، فإن هذه الخاصية تهمل إهمالا شديدا فى المجالات المغناطيسية الصغيفة مثل المجال الأرضى. لذا تكون (IRM) هامة فقط فى منكشف الصخور التى تظهر محليا، وشدة المجالات التى تنتج من خبطات خفيفة. حيث أن التأثير المغناطيسى الناتج بواسطة الخبطات الخفيفة يكون محلى جدا، ونتيجة لعدم انتظامية فى شدة (IRM) الكبيرة لذلك من السهل إهماله.

2.2.2.5 متبقيات مغناطيسية لزجة Viscous Remanet Magnetization (VRM):

هذه المتبقيات تنتج من تجمع مغناطيسية ثانوية مكتسبة بواسطة صخور تعرضت طويلا لمجال محيط مشابه للمجال الأرضى. لذلك، عامة تكون زيادة (VRM) لوغارتمية مع الزمن وتزداد صلابة (VRM) عبر مرورها بالأزمنة الجيولوجية. اعتباريا، تكون علاقة مغناطيسية "الزوجة" الصخور، VRM المكتسبة عكسية مع اجبارية عدد الحبيبات المغناطيسية الموجودة. وقد أوضحت التجارب المعملية أن VRM المكتسبة بواسطة الصخور النارية والرسوبية خلال 4-6 اسابيع تعتبر سلسلة فى المجال الأرضى. جميع الصخور، التالية لتكوينها، والتى تعرضت للمجال المغناطيسى الأرضى لامتداد زمنى كبير، عادة ما تملك بعض (VRM) بالإضافة لـ NRM الأولى المكتسبة منذ زمن تكوينها.

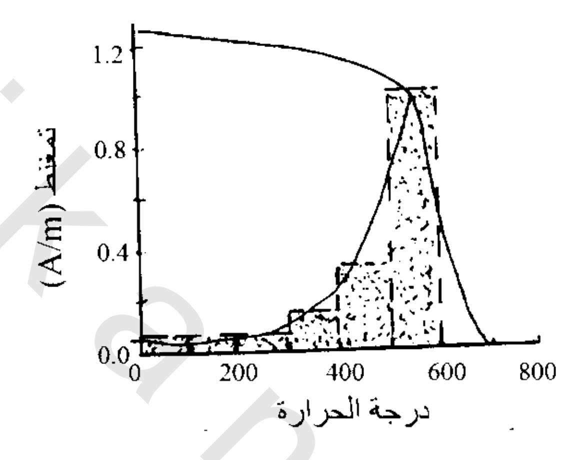
3.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الحرارة Thermoremanent Magnetization (TRM):

تكتسب TRM بواسطة الصخور أثناء برودتها من درجة حرارة كورى (Curie) إلى درجة حرارة الجو العادية فى وجود مجال مغناطيسى. نسبيا، هذا أهم تفسير ميكانيكى لقوة واستقرار NRM لكثير من الصخور النارية. عادية تكتسب أغلب TRM فى فترات حرارة ما بين 100°-150° أسفل نقطة كورى (T_C). عندما تكون درجات الصخور قريبة من نقطة كورى فإن المغناطيسية المكتسبة تتناسب مع المجال المحيط، H_a، وبالمثل فإن المغناطيسية الحثية ìInduction magnetizationî تختفى إذا أزيل المجال المحيط. ربما، عندما تبرد الصخور أسفل T_C فى وجود المجال الميحط فإن مغناطيسيتها تصبح مستقرة عند درجات الحصر (blocking temperatures T_A) الواضحة، والتى تعتمد على تكوين وحجم الحبيبات المغناطيسية الموجودة. بعد ذلك بزيادة التبريد فإن المغناطيسية تستقر ولايؤثر فيها أى تغير تابع فى المجال المغناطيسى المحيط، أى تتجمد ìfrozen ini المغناطيسية بواسطة التبريد من درجات الحرارة العالية. وكقاعدة عامة، فإن إرتفاع T_B (الحرارة الحصرية) تكون الإستقرار الأكبر لـ TRM. فى أغلب الصخور توازى TRM المجال المحيط (H_a) وبالنسبة للمجالات منخفضة الشدة فإنها تتناسب مع H_a.

TRM لها خاصية هامة هى أن TRM الكلية تنتج بواسطة تبريد (شكل 5-2) من T_C إلى درجة حرارة الحجرة T_o نتيجة لمجموع جميع أجزاء تمغنط حرارى جزئى partial thermoremanent magnetization

(PTRM) المكتسب فى فترات T_C-T_1، T_2-T_1، T_n-T_oÖ عكسيا، بإعادة التسخين لدرجة حرارة $T_C>T_i$ ثم يتبع تبريد فى مجال صفر، ينهدم نقط جزء من TRM الأصلى والتى اكتسب تحت درجة حرارة T_i. توجد هذه الخاصية المميزة لـ PTRM عند التطبيق فى خزف جاف وكثير من (وليست الكل) الحمم. يمكن إستخدام الشدة القديمة فى المجالات الملائمة للمجال الأرضى والذى ينتج أصل NRM.

فى المجالات الضعيفة فإن TRM أكثر شدة واستقرار من IRM، VRM المكتسبة فى نفس المجال. يسمح هذا الإستقرار لـ TRM بفصل التمغنط الثانى (التالى) (مثل VRM) المكتسب مؤخرا فى حالات كثيرة (وليست الكل) من أصل TRM. يتناسب استقرار TRM تقريبا مع الإضطرار وعادة تقل مع زيادة حجم الحبيبات.



شكل (5-2): إكتساب تمغنط حرارى جزئى (PTRM) فى فترات درجات حرارة مختلفة بمجموع (PTRM) المفرد يعطى منحنى (TRM).

4.2.2.5 متبقيات مغناطيسية الترسيب أو الفتات

Depositonal or Detrital Remanent Magnetization (DRM):

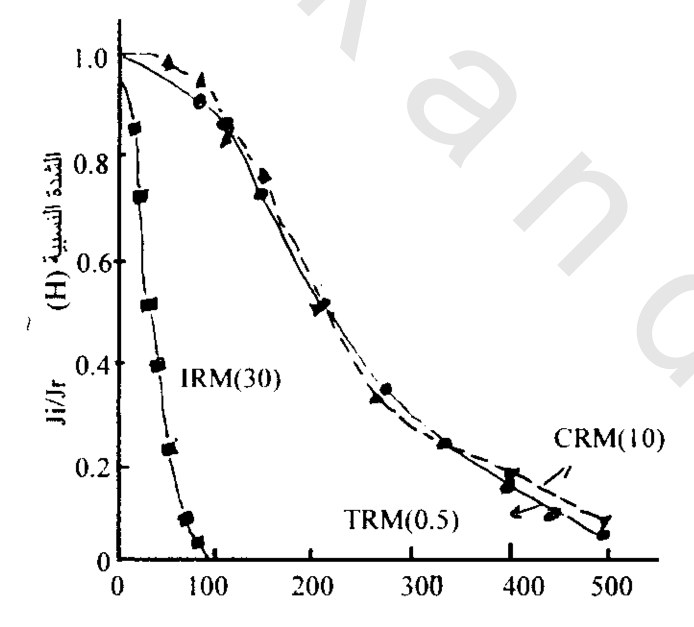
ربما تصبح حبيبات المعادن المغناطيسية التى تحمل المتبقيات مثل (TRM) المكتسبة أولا (مبكرا) موجه بواسطة المجال الأرضى عندما تستقر فى ماء هادئ (مستقر) وتصبح مطمورة فى الرسوبيات تعطى بعد ذلك رسوبيات متماسكة لترسيب أو فتات متبقيات المغناطيسية، من أحسن الأمثلة لذلك الطين الموسمى. أوضحت الدراسات المعدنية أن الماجنتيت magnetite فى حجم جزيئات فقط لقليل من الميكرونات أهم المواد المغناطيسية فى الموسميات.

برغم أن DRM تسود عامة بواسطة حبيبات مجنتيت دقيقة، فبعض الدراسات أوضحت أن مغناطيسية الرسوبيات فى بعض الحالات ترجع إلى حبيبات الهيماتيت السوداء. وفى حالات كثيرة فإن مغناطيسية الرسوبيات لا تكون مفتتة ولكن ذات أصل كيميائى ناتجة أثناء التحولات الكيميائية فى عمليات التماسك. لذلك فإن دراسة DRM محصورة للرسوبيات الحديثة والتى لم تعانى أى تحول كيميائى.

5.2.2.5 متبقيات المغناطيسية البلورية أوالكيميائية

Crystallization or Chemical Remanent Magnetization (CRM):

تكتسب (CRM) أثناء التكون النووى والنمو أو أعادة تبلور لحبيبات مغناطيسية دقيقة بواسطة تفاعلات كيميائية معينة (عند درجات حرارة بعيدة أسفل نقطتها الكورية) فى أى مجال محيط. وتظهر ميكانيكية هذه العمليات أن (CRM) تشبه كثيرا العمليات التى تنتج TRM من جزيئات فردية سائدة. ويوضح شكل (5-3) استقرار CRM بالنسبة لدرجة حرارة إزالة المغناطيسية أو إلى مجال إزالة مغناطيسية متردد مشابه جدا لمثل TRM، وذلك برغم أن الشدة لاتكون كبيرة. يبدو أن مغظم الصخور الرسوبية والمتحولة تملك فى الطبيعة CRM. ربما تكون بعض المغناطيسية المتبقية للصخور الرسوبية الحمراء قبل الترسيب CRM والمكتسبة بواسطة نزع الماء وإعادة التبلور من الجوثيت للهيماتيت أو من ليبدوكروسيت Lopidocrocite إلى الجوثيت. حتى فى الصخور النارية فإن معادن أكسيدات الحديد ربما تتعرض للإنتقال من شكل لآخر أثناء خروج المحاليل ببطء أو عمليات درجات الأكسدة البطيئة وعندئذ تكتسب CRM. والعملية يمكن أن تنتج العملية العكسية (الإختزال) مغناطيسية كيميائية متبقية مستقرة مثل تحول الهيماتيت إلى مجنتيت شكل (5-3).



شكل (5-3): منحنيات مجال إزالة مغناطيسية متردد لأنواع مختلفة من متبقيات تمغنط فى عينات مجنتيت اكتشفت

6.2.2.5 متبقيات المغناطيسية الإجهادية (PRM) Prezoremanent Magnetization:

(PRM) مغناطيسية متبقية إضافية تكتسب بواسطة تطبيق وإطلاق ميكانيكية الإجهاد فى المجال المحيط عند درجة حرارة ثابتة. ربما تقل هذه المغناطيسية أيضا قبل وجود المتبقيات بواسطة ضغط أحادى المحور فى إتجاه المغناطيسية فى نفس طريق القابلية المغناطيسية. تكتسب حديثا دراسة PRM وعلاقة الظاهرة الطبيعية المغناطيسية الدقيقة (مجنيتوستركشن (Magnetostriction)) تعريفا خاصا، حيث يصاحب تاثير الإجهاد الحرج للصخور قبل حدوث الزلزال بعدة دقائق، ولكن قياسيا، فإن شاذات السيزمومجنتيك (seismomagnetic) ذات جامات قليلة، ربما تعطى هذه التأثيرات دلالة على قرب حدوث زلزال. وحديثا، وضعت مغنوطومترات حساسة جدا على طول فالق سان أندرير San Andreas لإختيار تأثير السيزمومجنيتك على حركة مستوى الفالق.

3.5 تكنولوجيا المغناطيسية القديمة Techniques of Paleomagnetism:

حقيقة القواعد الأساسية للمغناطيسية القديمة هى إستقرار NRM لوحدة صخرية غير مضطربة تكتونيا وتعطى تسجيل حقيقى للمجال المغناطيسى الأرضى (F_{anc}) القديم السائد عند زمن تكوين الصخر. ويعبر عن الفروض الأساسية بأن $F_{anc}//J_r$ و $F_{anc} \alpha J_r$ ولبعض تطبيقات التعاريف على مقياس عالمى، إتخذ افتراض إضافى بأن F_{anc} تتوافق مع محور ثنائى قطبى مركز الأرض. يعدل الإستخدام الأخير لمحور ثنائى قطبى المغناطيسية الأرضية تبعا للمحور الجغرافى الأرضى.

1.3.5 عينات المغناطيسية القديمة وقياسها Paleomagnetic Sampling and Measurements:

معظم الصخور المستخدمة لدراسة المغناطيسية القديمة تكون إما لصخور نارية أو صخور رسوبية. يكون المتطلب الأول جمع مجموعة من العينات، محددة الإتجاهات فى الفراغ، من وحدات الصخور المراد دراستها. ربما تؤثر NRM لصخور المكاشف، خاصة فى مساحات مخارج الصخور القاعدية (أو تداخلها) على قراءة البوصلة المغناطيسية، ولذلك تستخدم البوصلة الشمسية بدلا منها. من الواضح أن تكوينات الصخور تتجه للتحطم، كما فى الطبقات المائلة، لذلك يستدل على المستوى الأفقى الأصلى بواسطة التطابق أما بالنسبة للتتابع الطبقى (مثل الطبقات الرسوبية، إنسياب الحجم). فعادة تؤخذ العينات من قطاع رأسى اعتبارى تبعا لبضعة آلاف من السنين الزمنية. لذلك عند قياس NRM للعينات تكون متوسطة ، ويكون تأثير التغير الزهرى فى F_{anc} صغير جدا.

من كل عينة جمعت، يقطع عدد من العينات فى صورة مكعبات أوتؤخذ محفورة فى صورة إسطوانات. ولقياس NRM للعينات فإن ثلاثة أنواع من الأجهزة (ملائمة كوحدات تجارية) سائدة الإستخدام، المجنيتومتر الإستاتيكى المجنيتومتر المغزلى، ومجنيتومتر فائق التوصيل.

1.1.3.5 المجنيتومتر الإستاتيكى Static Magnetometer:

من أوائل الأجهزة التى استخدمت فى قياس NRM. يتكون من زوج مغناطيسى صغير متساوى ومتضاد العزم معلق على خيط التوانى. إذا وضعت العينة من المغناطيس السفلى فإن نظام المغناطيس ينحرف إستجابة للمجال الأفقى المنتج بواسطة العينة أسفل المغناطيس. ويكون إنحراف المجموعة علاقة للمسافة، الإتجاه، وشدة مغناطيسية العينة. تجرى القياسات بوضع العينة فى إتجاهات مختلفة وعادة تأخذ من 10-20 دقيقة لتحديد إتجاه المغناطيسية المتبقية. لقياسات جيدة ($NRM \leq A/M\ 10^{-1}$)، وغالبا ما تصبح مشكلة بيئة الشوشرة حرجة للقياس، لذلك يكون مبنى المعمل بعيدا عن أى تأثير ميكانيكى أو مرورى شكل (5-4 أ).

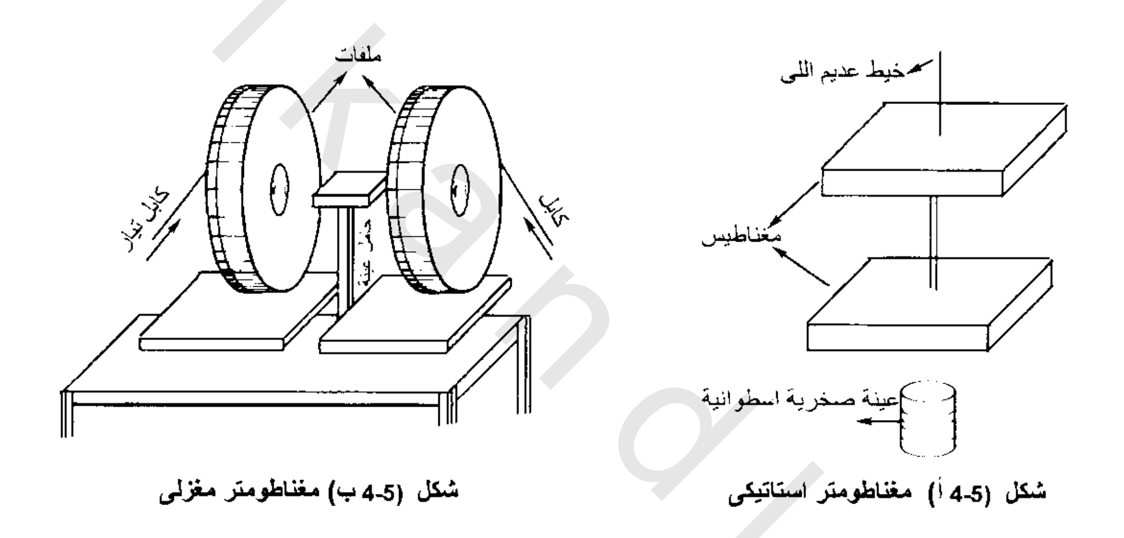
2.1.3.5 المجنيتوميتر المغزلى Simple Magnetometer:

من أهم الأجهزة الملائمة لقياس NRM لعينات الصخور سريعا. تدور العينة النموذجية (عادة إسطوانية 2.2 cm x 2.5 cm) بالقرب من مركز ملف شاحن صغير لذلك ينتج جهد عند تردد الدوران. وتتناسب سعة الإشارة الناتجة مع مركبة المغناطيسية المتبقية والتى تتعامد على محور الدوران. ولتحديد إتجاه المغناطيسية

عادة تدار العينة حول الثلاثة محاور العمودية لها. وتستخدم واحدة من الوحدات التجارية حلقة فتحة تدفق نظام شاحن صغير وتكون متصلة بكمبيوتر صغير والذى يعدل خروج الإشارة من عدد كبير من اللف (الدوار). يمكن استخدام القياسات على المجنيتومترات المغزلية للعمل خلال 15 دقيقة لشدة متبقيات أقل من $A/M/O^{-4}$ لعينة ذات حجم نموذجى شكل (5-4 ب).

3.1.3.5 مجنيتوميتر فائق التوصيل :Superconducting Magnetometer (SQUID Magnetometer)

يستخدم لقياس NRM لصخور مغناطيسيتها ضعيفة (غالبا رسوبية) حيث أنه أسرع وأكثر حساسية من النوعين السابقين. فى هذا الجهاز، تدخل العينة الصخرية إلى ملف محفوظ عند درجة حرارة (سائل الهليوم). وتنتج هذه العملية تيار دائم فى الملف، وتعتمد قيمته على مركبة المغناطيسية على طول محور الملف. ولايعتمد انسياب التيار على المعدل عند دخول العينة التى تقاس بواسطة جهاز حس (SQUID). ويمكن قياس الثلاث



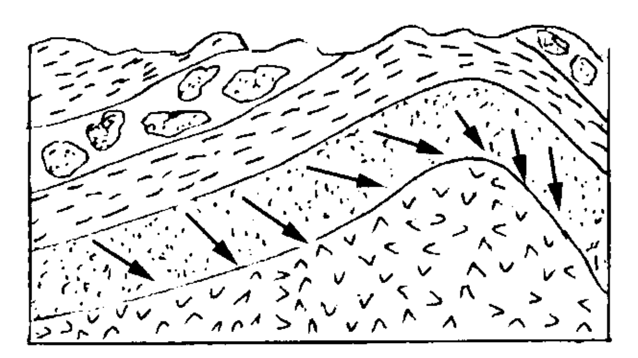
شكل (5-4 أ) مغناطومتر استاتيكى

شكل (5-4 ب) مغناطومتر مغزلى

مركبات للمغناطيسية القديمة (Jr_Z, Jr_Y, Jr_X) لحظيا فى نفس الوقت بواسطة ثلاثة أجهزة حس (SQUID) متبادلة عموديا نهائيا. تحاط ثلاثة دروع فائقة التوصيل بأجهزة حس (SQUID) لنقل المجال الخارجى إلى نانوتسلا nT قليلة. وقد أحدثت الحساسية العالية ($\sim 10^{-5}A/M$) وسرعة الزمن المطلوب لمجنيتوميتر SQUID ثورة فى قياس المغناطيسية المتبقية الضعيفة.

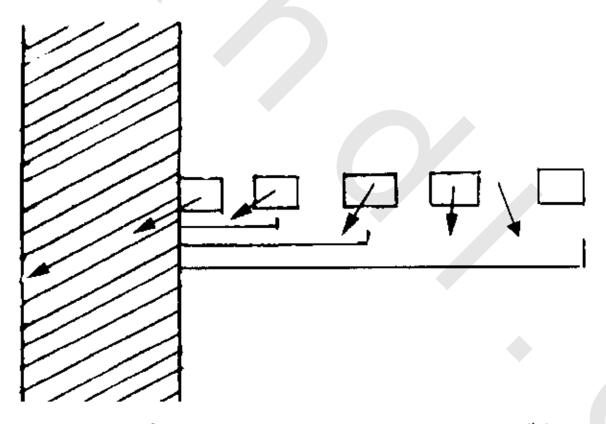
2.3.5 إختبارات حقلية الإستقرار :Field Tests of Stability

طبقت عدة إختبارات جيولوجية لتحديد إستقرار NRM، وأهم هذه التطبيقات هى اختبار الطى ìFold testî والتماس التحميص ìbaked contactî ويوضح شكل (5-5) أساس اختبار الطى. إذا كانت اتجاهات NRM فى طبقة الطين، أخذت عينات من أماكن مختلفة، تختلف عن بعضها، ولكن توافقت بعد تطبيق تصحيح الميل. فإن NRM تؤرخ بتاريخ سابق التوزيع التكتونى وتبقى مستقرة منذ ذلك الزمن.



شكل (5-5): اختبار طى (جراهام Graham 1949) إذا أصبحت إتجاهات التمغنط القديم (الأسهم) متساوية بعد تطبيق تصحيحات الميل ، فإن التمغنط القديم يكون قبل التوزيع التكتونى

يتم اختبار التماس اليابس على إستخدام حقيقية أنه أثناء تداخل صهير الصخور النارية فى الصخور المضيفة فإن الأخيرة تسخن وعند التبريد تكتسب NRM (افتراض TRM) فى نفس المجال المغناطيسى الذى فيه تصبح الصخور المتداخلة ممغنطة مع التبريد (شكل 5-6) وحيث أن الصخور النارية أو المحمصة والصخور القارية المحمصة تكون عامة مختلفة المعادن، فإنها تتفق فيما بين إتجاهات NRM لها، ولاتتفق مع اتجاهات NRM للصخور غير المحمصة مؤدية دلالة جيدة لاستقرار المغناطيسية لكلا من صخور التداخل والصخور المحمصة منذ زمن التبريد. ربما لايتم اكتشاف أى تداخل أو إعادة تمغنط أقليمى بسبب تسخين عام، وأن عميق أو نشاط صخور نارية متسع بواسطة هذا الإختبار.



شكل (5-6): شكل تخطيطى يوضح نطاقات من التمغنط بعد برودة الصخور النارية والصخور المجاورة المحمصة (ولسون R.L. Wilson 1966

3.3.5 طرق المغنطة والإزالة الحرارية :Magnetic and Thermal Cleaning Methods

قبل تفسير قياس NRM للصخور فى أزمنة إتجاه الميل القديم، يجب بعناية إزالة متبقيات المغناطيسية للزجة (VRM) أو تمغنط ثانوى آخر واللذان يتبادلان التركيب على المتبقيات الأولى. هذا التمغنط الثانوى عادة (وليس دائما) يكون رخوا (أو هشا) بالمقارنة لـ TRM أو CRM الأولى وفى الحالات الملائمة يمكن هدم المركبات الرخوة بواسطة إزالة التمغنط جزئيا، بينما يبقى قياس جزئى للمركبة الصلدة. عامة، تستخدم طريقتين فى معامل المغناطيسية القديمة.

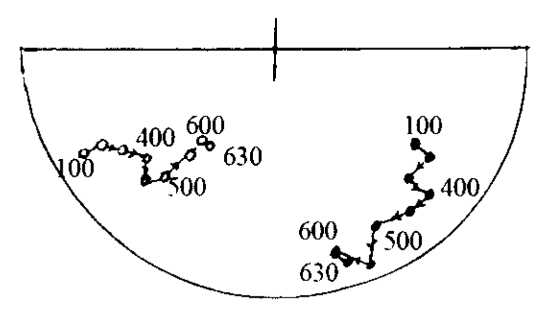
1.3.3.5 طريقة إزالة المغناطيسية فى مجال متردد

In the Alternating Field (a.f.) Demagnetization Method:

تعرض العينة الصخرية إلى مجال متردد والذى يقل ببطء متساوى إلى الصفر من شدة قمة مختارة تعتمد على قوة قهرية (coercive force (H_C)) لمركبات هدمت. أساسا، يزال المجال الأرضى عبر العينة، وحيث أن المجال المتردد له شكل موجه خاصة فربما تكتسب العينة عكسيا متبقيات مغناطيسية للتخلف المغناطيسى anhysteretic remanent magnetization (ARM) أو تختفى متبقيات NRM. وعادة تقلب العينة عند مركز ملف إنتاج المجال المتردد لذلك تنتظم جميع الإتجاهات خلال العينة بنجاح مع المجال على طول المحور. ويشير نظام مجال إزالة المغناطيسية المتردد إلى زيادة الشوشرة عند بعض مجالات فوق 50 nT (500 Oc. =) بسبب تأثير إنتاجه بواسطة ARM ومصادر أخرى للاضطراب، ويعمل لبعض الصخور مجال دقيق عالى يصل إلى 150 mT ñ 100 mT. لذلك تكون الطريقة غير ملائمة لتكملة تحديد الغرض القهرى للعينات والتى فيها تحمل المتبقية بواسطة حبيبات الهيماتيت لقهر عالى. وعامة تطبق هذه الطريقة، غالبا لعينات حاملة مغناطيسية من الصخور النارية.

2.3.3.5 طريقة التسخين والتبريد بدرجة نمطية: Stepwise Heating and Cooling Method

بهذه الطريقة يمكن إزالة مغناطيسية العينة الصخرية حراريا فى مجال فراغ حر. يؤدى تسخين العينة إلى أن مغناطيسية الحبيبات تصبح عشوائية الإتجاه، معتمدة على درجة حرارة حصر مركبات المغناطيسية ولذلك يمكن تحديد طيف درجة حرارة الحصر للعينة بواسطة سلوك درجة حرارتها المغناطيسية، ويعزل استقرار مركبة NRM (التى ربما تكون TRM أو CRM) بواسطة تدمير المركبات الثانوية لثبات الإنخفاض النسبى الحرارى. يوجد خطر فى التحول الكيميائى أثناء إعادة التسخين، وهذا يعتبر عدم ميزة لتلك الطريقة. لذلك يجب قياس مجال القابلية المغناطيسية المنخفض قبل كل إعادة تسخين لضبط الثبات الكيميائى للمعادن المغناطيسية، حيث أن أى تغير فى القابلية المغناطيسية سوف يدل على التحول الكيميائى للمعادن. تقنية الإزالة الحرارية أكثر تطبيقا للصخور الحاملة للهيماتيت، والتى لها تمغنطات ثانوية والتى يكون من الصعب إزالتها بواسطة إزالة المجال المتردد (a.f.). ويوضح شكل (5-7) مثال للتغير فى إتجاه متجهات NRM فى عينيتين للحجر الرملى الحامل للهيماتيت. وهما يقاومان بشدة لإزالة المجال المتردد (a.f.) فى مجالات فوق 150 mT (= 1500 oe) فى بعض الحالات، ربما يكون الغسل الحامضى للصخور أكثر نجاحا من المجال المتردد أو الإزالة الحرارية لعزل المتبقيات الأولية. ربما يكون للصخور التى تتعرض لحرارة معقدة وتواريخ كيميائية سلوك لانظامى خلال عملية الإزالة حيث لايمكن فصل المتبقيات الأولية خلال تحليل متبقيات مركباتها المغناطيسية.



شكل (5-7): تغيرات فى إتجاه NRM لعينتين حجر رملى نيكسو Nexo مع تقدم إزالة تمغنط حرارى يشاهد على شبكة قطبية متساوية المساحة. ويلاحظ أن الإتجاهات تصبح مستقرة بعد معالجة حرارية عند 600° (براسادوشارما Prasad and Sharma 1978.

3.3.3.5 الإتجاهات الإساسية، الأقطاب، النطاقات القديمة: Mean Directions, Poles, and Paleolatitudies

عادة إزالة إتجاهات NRM لمجموعات عينات من عدة تجمعات مواقع، توضح إنتشارها، ويمكن تحديد متوسطهم بواسطة تجمع متجهى. يعين إتجاه لمتجه المتبقية عينة صخر بواسطة الإنحراف D_r (تقاس فى إتجاه الساعة من الشمال الجغرافى) والميل I_r (يقاس موجبا لأسفل من الأفقى). ويمكن تحديد الناتج (متوسط) لـ N كاتجاهات بواسطة جمع اتجاهات جيوب تمام الزوايا (l, m, n) لمتجهات فردية لكل وحدة وزن. يعين الطول R واتجاه محصلة المتجه بواسطة إنحرافه D_r، وميل I_r ويمكن الحصول عليه كالآتى:

$$l = \cos D, \cos I \;\&\; m = \sin D_r \cos I_r \;\&\; n = \sin I_r \qquad (5\text{-}1)$$

$$R^2 = (\Sigma\, l)^2 + (\Sigma\, m)^2 + (\Sigma\, n)^2 \qquad (5\text{-}2)$$

$$\tan D_R = (\Sigma_m)/(\Sigma l) \;\&\; \sin I_R = (\Sigma_n\, l/R) \qquad (5\text{-}3)$$

حيث Σ تشير إلى جمع عبر متجهات فردية N.

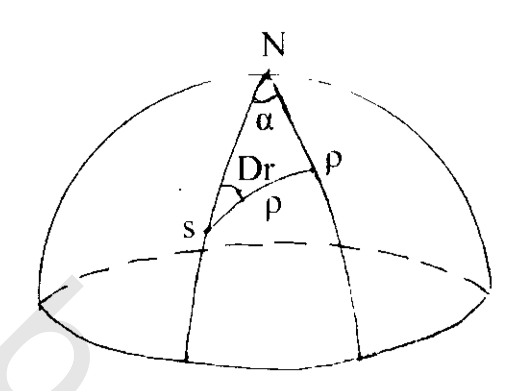
ومعاملى الدقة الأكثر شيوعا للاستخدام هما K , α_{95} ويقاس المعامل K من الإنتشار العام لمتجهه N، وقد أوضح فيشر Fisher 1953 أن أحسن تقدير لـ K هو

$$K = (N-1)/(N-R) \qquad (5\text{-}4)$$

K تتراوح تقريبا من I لتوزيع عشوائى كامل للاتجاهات إلى مالانهاية لاتجاهات متطابقة، أيضا وضح فيشر Fisher أنه عند مستوى احتمال (1-P) فإن متوسط الإتجاه الحقيقى لشيوعه اتجاهات N تقع خلال دائرة مخروطية والذى يكون محورها هو متوسط الإتجاه الملاحظ وزاويتها النصف رأسية تعطى كالآتى:

$$\cos \alpha_{(1\text{-}P)} = 1 - \frac{N-A}{R}\left[\left(\frac{1}{P}\right)^{1/(N-1)} - 1\right] \qquad (5\text{-}5)$$

فى معظم دراسات المغناطيسية القديمة فإن P تكون 0.05، لذلك يوجد 95% شيوعا، لمتوسط إتجاه حقيقى يقع خلال α_{95} درجة لمتوسط الإتجاه الملاحظ. عندئذ يمكن استخدام الإتجاه لـ NRM من مجموعة متماسكة (غير متناقضة) للاستدلال على مكان القطب المكافئ، على الغرض لمحور مجال ثنائى القضب. وهنا تشتق الصيغ الهامة لهذا التحول. وتشمل المشكلة الأساسية حل للمثلث الكروى NPS (شكل 5-8). الكميات المعروفة هى إتجاه متبقيات المجال (D_r , I_r)، وخط العرض والطول الجغرافى لموقع العينة S(λ, φ). أما الإثنين الغير معروفين المطلوب تحديدهما هما خطوط الطول والعرض للقطب القديم P(λ', φ') فى نظام الاحداثيات الجغرافية الحاضر.



شكل (5-8): حساب مكان القطب القديم (P) من معرفة إنحراف وميل NRM لعينات من موقع S شاملة حل للمثلث الكروى NPS ، N تمثل القطب الجغرافى الحالى

تكون الخطوة الأولى تحديد زاوية الفصل (θ) للقطب P من الموقع S. ويمكن الحصول على هذا من الميل (I_r) من إتجاه الميل المقاس بوساطة العلاقة الآتية:

$$\tan I_r = 2 \tan \lambda = 2 \cot \theta \ (O^\circ \le O \le 180^\circ) \qquad (5\text{-}6)$$

ويمكن تعيين جوانب المثلث NPS (فى عبارات لمسافة زاوية) حيث

$$SP = \theta,\ PN = (\pi/2-\lambda`)\ ,\ NS = (\pi/2-\lambda)$$

وزوايا مثل $N(\alpha =),\ S,\ (D_r) = P,$

وباستخدام العلاقة الجغرافية بين جوانب المثلث الكروى NPS نحصل على

$$\cos (\pi/2-\lambda`) = \cos \theta \cos (\pi/2-\lambda) + \sin \theta \sin (\pi/2-\lambda) \cos D_r$$

والتى يمكن كتابتها كالآتى:

$$\sin \lambda` = \cos \theta \sin \lambda + \sin \theta \cos \lambda \cos D_r \qquad (5\text{-}7)$$

لحساب `φ ، تحدد α الأولى من العلاقة المعروفة من الهندسة الكروية

$$\sin \alpha/\sin \theta = \sin D_r/\sin (\pi/2-\lambda`)$$
$$= \sin D_r/\cos \lambda` \qquad (5\text{-}8)$$

لذلك يمكن تحديد `λ (-90° إلى +90°) من المعادلة (7)، α (-90° إلى +90°) من المعادلة (8)، ويوجد حلين لتحديد φ. من α

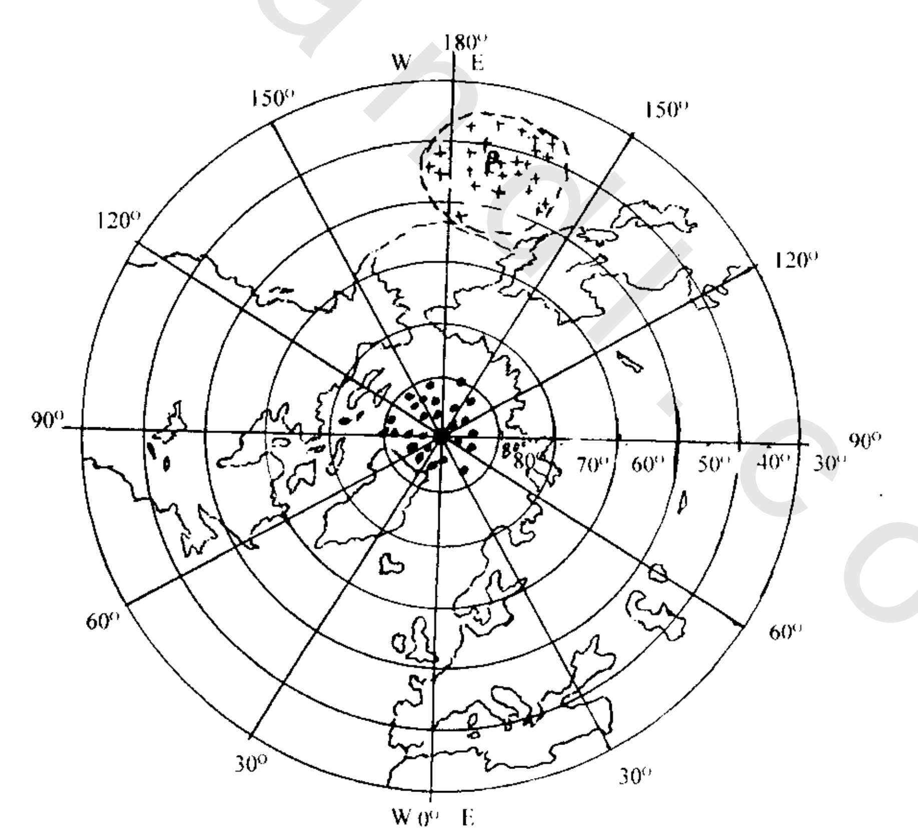
$$\left.\begin{array}{l} \varphi` = \varphi` + \alpha \quad \text{عند } \cos \theta \ge \sin \lambda \sin \lambda` \\ \\ \varphi` = \varphi + 180 \quad \text{عند } \cos \theta < \sin \lambda \sin \lambda` \end{array}\right\} \qquad (5\text{-}9)$$

حساب القطب من متوسط (معدل) إتجاه المغناطيسية القديمة (D_r , I_r) عبر فترات ($\sim 10^4$-10^6) كافية تماما للسماح للمركبات غير المحورية للمجال الأرضى لتكون معدل الخرج لما يسمى قطب المغناطيسية القديمة. لذلك، فإن قطب المغناطيسية القديمة ≈ القطب الجغرافى القديم. من هذا يتضح أن القطب المغناطيسى الحقيقى القديم virtual geomagnetic pole (VGP) يكون القطب المحسوب من نقطة (موقع) قراءة تجاه المجال (مثل،

التى تعطى بواسطة مجموعة من قياسات I_r، D_r على انسياب حجمى فردى أو مجموعة من I، D من عرض مغناطيسى)، أما القول الجيولوجى، فإن VGP يمثل لحظة زمنية، تماما مثل ما تكون الأقطاب الجغرافية.

أماكن الأقطاب الجغرافية المحددة من صخور عصر البلايوسين Pliocene وعصر البلايستوسين Pleistocene يوضح فى شكل (5-9). مجموعة الأقطاب حول القطب الجغرافى (تاركة القطب المغناطيسى الحاضر، M أكثر بعدا) تدل بوضوح أن وجود المجال المغناطيسى على المعدل، له محور مجال ثنائى القطب على الأقل خلال الماضى القريب.

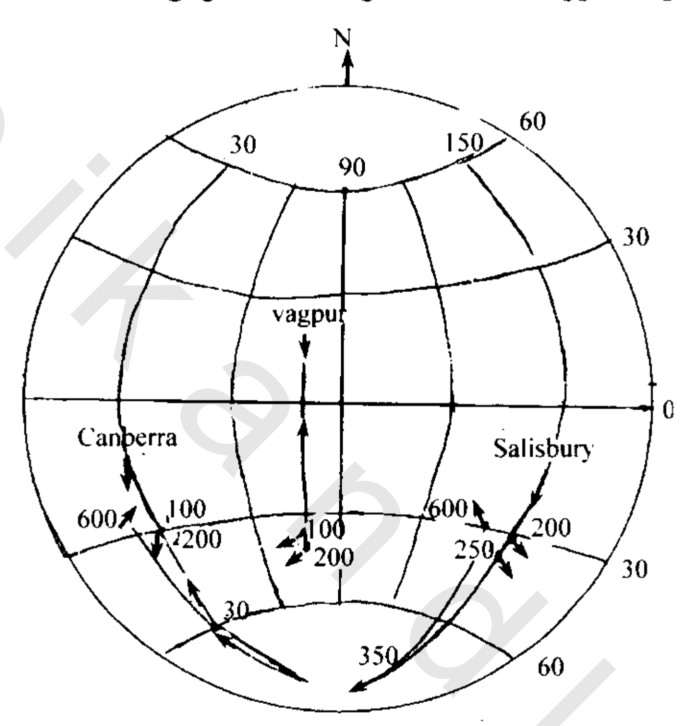
دلالة إرتباط محور ثنائى المجال الأرضى مع فترات الجيولوجيا القديمة ستوضح فى قسم (6,5) ولكن لمتابعة الشرح سنفرض صحة خاصية محور ثنائى القطب (مثل تطابق المحاور الجغرافية والجيومغناطيسية. بهذا الفرض فإن العلاقة المعطاه فى المعادلة رقم (5,6)، (5,7) تصبح هامة جدا فى المغناطيسية القديمة. بإستخدام هذه العلاقة، فإن خط العرض القديم λ لموقع المكان يمكن تحديده مباشرة من قياس الميل I_r للمتبقية، أيضا قياس إنحراف متبقى، D_r، يعطى إتجاه الموقع بالنسبة للقطب، أى معرفة إنحراف D_r من الصفر تدل على أن الموقع دار بالنسبة للقطب. شكل (5-10) يوضح أن خطوط العرض القديمة والسمت (azimuths) لثلاثة أماكن مأخوذة كنقط مرجع لاستراليا، الهند، أفريقيا. من المهم تأكيد أن خطوط العرض القديمة لايمكن تحديدها، لأن كتلية الأرض يمكن وضعها فى أى مكان على خط عرض معين.



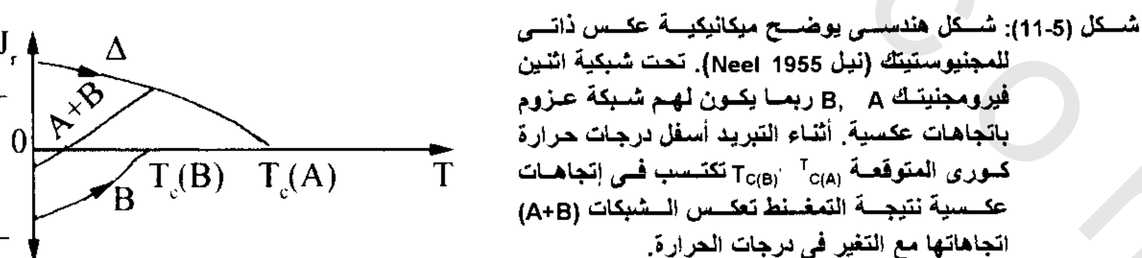
شكل (5-9): مسقط مجسم لنصف الكرة الشمالى. النقط السوداء المتجمعة حول القطب الشمالى تدل على مواقع البلايستوسين Pleistocene وأقطاب البليوسين Pliocene محددة بالمغناطيسية القديمة، M تدل على الأماكن الحالية للقطب المغناطيسى. تعريف أقطاب البرمى Permian (المتجمعة حول P) سيفسر فى جزء (1,6,5) (هولمز Holmes 1965)

4.5 إنعكاس المجال المغناطيسى الأرضى Reversals of Geomagnetic Field:

واحدة من أهم الإكتشافات فى المغناطيسية القديمة حيث أن حوالى 50% من دراسة الصخور إلى الآن دلت تقريبا على وجود تمغنط فى إتجاه عكسى للمجال الأرضى الحالى. وهذا يشارك بحقيقة أن المجال الأرضى عكس قطبيه أوقات كثيرة فى الجيولوجيا الماضية. يدل وجود صخور ممغنطة عادية وعكسية مناصفة على أن المجال الأرضى ربما يكون له إحدى القطبين متساوى الإحتمالية. إذا كان التمغنط العكسى الذاتى شكل (5-11) حدث فى أغلب 50% من الصخور، لذلك يجب بالأحرى ملاحظة التوافق.



شكل (5-10): خطوط العرض القديمة والسمت لثلاثة أماكن مأخوذة كنقط مراجع لاستراليا، الهند، وأفريقيا. خطوط الطول ليس لها أهمية وتبدل اختياريا. تدل اتجاهات الأسهم على دوائر خطوط الزوال القديمة، الأعداد بجوار الأسهم تدل على الزمن بملايين السنين (إرفنج 1964، مكلهانى McElhany 1973، معدل من كلارك Clark 1971)

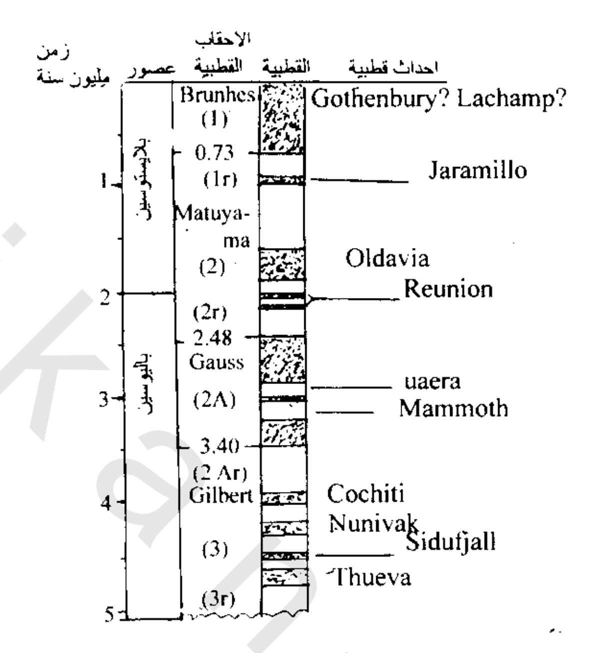


شكل (5-11): شكل هندسى يوضح ميكانيكية عكس ذاتى للمجنيوستيتك (نيل Neel 1955). تحت شبكية اثنين فيرومجنيتك A ,B ربما يكون لهم شبكة عزوم باتجاهات عكسية. أثناء التبريد أسفل درجات حرارة كورى المتوقعة $T_{C(B)}$، $T_{C(A)}$ تكتسب فى إتجاهات عكسية نتيجة التمغنط تعكس الشبكات (A+B) اتجاهاتها مع التغير فى درجات الحرارة.

1.4.5 دلالة إنعكاسات المجال Evidence for i Field Reversalsî:

توطدت حقيقة إنعكاس المجال بواسطة دلائل مستقلة مثل "أخذ المجال فى تمثيل إنعكاس" فى مواد صخرية مختلفة كلية من أماكن منفصلة بإتساع مثل حمم من كاليفورنيا ورسوبيات بحرية من شمال الباسيفيكى. الحمم،

المنهمرة حراريا والمذابة، تكتسف مغناطيسية متبقية (TRM) بواسطة برودتها فى المجال الأرضى، الرسوبيات المحيطة تكتسب مغناطيسية متبقية أخرى (DRM) بواسطة الترسيب البطئ والترسيب الكيميائى فى مياه باردة. إذا أظهرت كلا من هاتين المادتين نفس التتابع الميقاتى (المرتب زمنيا) للإنعكاس شكل (5-12، 5-13)، عندئذ يجب أن تكون نتيجة المجال الأرضى معكوس قطبه حقيقيا ولايكون بسبب تيار تزامنى لميكانيكية الإنعكاس الذاتى فى كلا المادتين.

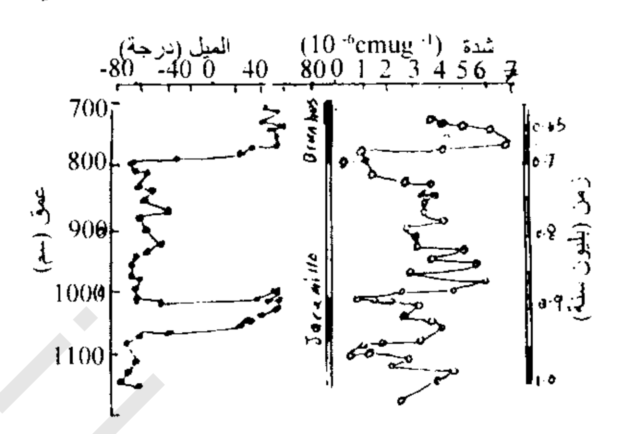


شكل (5-12): مقياس زمن قطب السينوزوى Conozoic الأخير موضح على تصحيح K-Ar لإنسياب حممى. النطاقات المنقطة (قطبية عادية) والبيضاء (قطبية عكسية) وسميت بالأحقاب القطبية (على يسار عمود القطبية) وإحداث قطبية مدة الدوام (على يمين عمود القطبية). تبادل التصميم العددى موضوع على عدد تتابع شاذات مغناطيسية بحرية معطاه فى قوسين. شاذة 11 تتبع النطاق المركزى للتباعد عند محور النتوء (انظر شكل 5-13) والمكتسبة تمغنطها اثناء حقب Brunles العادى (مانكين ود لريميل Manknen & Dalrgmple 1979) و(هارلاند وآخرين ,.Harland et al 1982)

وجزء آخر مقنع البرهان، يكون اختبار قطبى من "تماس التحميص" (baked contact). تمت دراسة مناطق التماس فى صخور مضيفة والتى حممصت بواسطة تداخل صخور نارية مؤخرا. وقد وجد أن مناطق التحميص تكتسب TRM مع نفس القطب فى أغلب حالات الصخور النارية، بصرف النظر عن القطبية للمتبقيات المغناطيسية فى صخور مضيفة غير محمصة (شكل 5-14). وقد وجد من تقرير 157 حالة عدم اتفاق فى القطبية فقط فى ثلاث حالات كما فى الجدول الآتى (5-1).

الحالات المشتبهة فيها للإنعكاس الذاتى self-reversal قليلة جدا بالمقارنة مع 104 حالة حيث كلا من الصخور النارية والصخور المحمصة ترى توافق للمغناطيسية (R). عدد الإتجاهات المتوسطة (1) حوالى 2% من الكلية، ومن المحتمل ان تعكس هذه الإتجاهات سلوك انتقالى للمجال الأرضى اثناء إنعكاس القطبية شكل (5-13). وقد سجل الإنقلاب القطبى خلال السجل الجيولوجى، بالرغم ن أن النسبة المئوية للأقطاب العادية (N) والمعكوس (R) لأى زيادة فى الزمن أيضا تختلف مع الزمن. فى محاولة لفرض معدل قطبى للمجال المغناطيسى الأرضى خلال 600 مليون سنة الأخيرة، تمت تحليلات لمواقع لتقرير N أو R لها. وعلى هذه القواعد عينت أربع فترات.

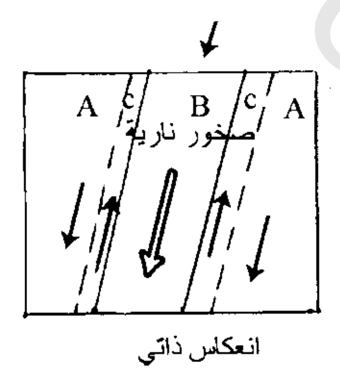
تميز الكريتاوى، الجوراس، أوردوفيشى والسيلورى المتأخر أساسا بواسطة القطب العادى N، وساد البلوزوى الأول والاخر بوساطة القطب المعكوس R.



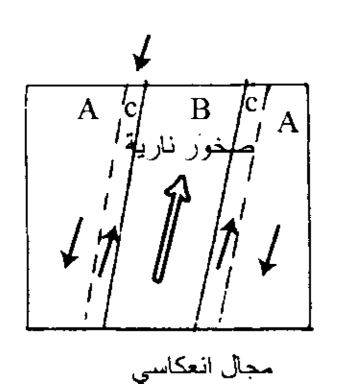
شكل (5-13): تغيرشدة التمغنط والميل مع العمق كمسجل فى عينة بحرية رسوبية عميقة. الهبوط الواضح فى شدة NRM خلال الإنعكاس يدل على اقلال فى شدة المجال الأرضى خلال إنقلاب قطبى

جدول (5-1). قطبية المغناطيسية القديمة لصخور متداخلة وتماسها المحمص.

قطبية الصخور النارية	قطبية التماسات المحمصة	عدد الحالات
N	N	47
R	R	104
I``	I	3
متوسط بين العادى والعكسى		
N	R	3
R	N	O



انعكاس ذاتي



مجال انعكاسي

شكل (5-14): ترتيب أقطاب مغناطيسية لصخور متداخلة وصخور مضيفة محمصة (وإعادة تمغنط) تمد دليل مفصل لمجال معكوس. ربما يدل عدم ترتيب فى الأقطاب (تلاحظ نادرا) على إنعكاس ذاتى. (A) صخور مضيفة غير محمصة، (C) تماس محمص (B) صخور متداخلة.

2.4.5 ترتيب وتحديد أزمنة إنعكاسات القطب المغناطيسى الأرضى

Chronology of Geomagnetic Polarity Reversals:

بواسطة تزمين (توقيت) إنسياب الحمم بطريقة البوتاسيوم (K) الأرجون K (A_r)، يتعضد تزمين انعكاسات القطب المغناطيسى خلال 5-4 مليون سنة قبل الوقت الحاضر شكل (5-10). وقد وضحت النتائج تواجد دوران عالمى كبير (أحقاب) ثابت بحوالى 1 مليون سنة مع "أحداث" قطبية وجيزة خلال ثبوت هذه الأحقاب فقط ما بين 10,000 إلى 100,000 سنة.

يحتمل حدوث أغلب الإنعكاسات الحديثة فقط منذ 10,000 سنة مثل حادثة جوتنبرج Gothenburg المكتشفة فى ترسيبات حولية السويد، ومازال صحة هذا مع عدة أحداث قطبية قصيرة أخرى (مثل لاسشامب Laschamp) ثابتة التأييد.

وقد قيم عدم التأكد فى التأرخ المطلق فى نتائج شكل (5-11) والتى تكون تقريبا 2% نتيجة من قياس العصر. ويكون هذا العائق الأساسى لإمتداد المقياس القطبى المفسر، وعند زمن 4 مليون عام فإن عدم التأكد فى زمن (~80,000 سنة) تصبح أكبر من بعض أحداث قطبية مدروسة ويمكن مد المقياس العكسى 10 مليون سنة بوساطة دراسات قطبية لعينات لبية (cores) من عمق البحار، والتى يمكن تأرخها بواسطة محتوياتها الحفرية. أيضا، وضعت إمتدادات لمقياس قطبى لعصور السينوزوى والميزيزوى على أساس تقييم عصور شاذات المغناطيسية البحرية والتى نتجت من انفصال قاع المحيط.

3.4.5 سلوك المجال خلال انتقالات القطب :Field Behavior During Polarity Transitions

يظهر سؤالين كبيرين لسلوك المجال المغناطيسى أثناء إنعكاس القطب. أولا، لمذا تضمحل شدته إلى الصفر لتنمو مرة اخرى فى إتجاه معاكس. أو لماذا يغير قطب الأرض يعنى بذلك ثبات إتجاهه بـ 180° بدون تغير فى شدته (يعنى ذلك عزم مغناطيسى). ثانيا ماهو الزمن المطلوب لتغير القطب (أو إنتقال قطبى)؟

ترى قياسات الشدة على الحجم وعينات البحر العميقة أنه بينما يتعرض القطب للإنتقال، فإن شدة المجال الأرضى تقل من 10%-20% من الشدة العادية (شكل 5-13). ويكون مثل هذا النقصان الشديد فى شدة المجال مناقض مع الدوران البسيط لثبات شدة مجال ثنائى القطب، لأن الأخير لايسبب مجال مزدوج أقل من مجال خط الإستواء، يعنى ذلك، نصف المجال المحورى.

يكون الزمن المأخوذ لانتقال القطبية المعينة من رتبة 2000-6000 سنة، بينما تغير الشدة (إضمحلالها وبنايتها) تأخذ فترات أكثر طول. وبذلك يظهر نوعا ما لسؤال مثل ماذا يحدث لمركبة مجال غير مزدوج أثناء التغير القطبى. الملاحظ بأن عدم إنتهاء شدة المجال أثناء الإنتقال القطبى يفسر بالإقتراح بأى جزء عدم ثنائية القطب للمجال لاتقل بنسبة إلى مجال ثنائى القطب الأساسى، لذلك فإن المجال الضعيف عند زمن الإنتقال القطبى يكون عدم سيادية ثنائية القطب. وقد قدر اختلاف دوران هذا المجال الضعيف من 10,000 إلى 20,000 سنة.

وقد تمت دراسات تفصيلية لسلوك إنتقال وتردد الإنعكاسات القطبية بهدف نهائى إلزام نظريات الدينامو للمغناطيسية الأرضية والنماذج المقدمة لشرح انعكاسات المجال. وتشمل النتائج الهامة لهذه الدراسات تسجيلات مستمرة لطرق VGP أثناء الإنتقال القطبى ونماذج مختلفة للإنعكاسات القطبية.

5.5 المغناطيسية القديمة لأرضية البحار Paleomagnetism of Sea Floor:

1.5.5 إنعكاسية المجال وتباعد أرضية البحار :Field Reversals and Sea-Floor Spreading

تطبيق إنعكاس المجال الأرضى فى مجال علوم الأرض خرج من المسح المغناطيسى للمحيطات. وكما ذكر سابقا، أظهرت هذه المسوح شاذات مغناطيسية خطية موازية لنتوء الإرتفاعات فى جميع المحيطات. وقد فسرت هذه الشواذ فى حزمية خطية مترددة لمغناطيسية البازلت العادية والعكسية فى الطبقة الثانية من قشرة المحيطات. وعرفت الآن كبرهان مباشر لتباعد قاع البحر من نتوء منتصف المحيط.

وقد نمت فروض تباعد قاع البحر من اقتراحات مؤلفين سابقين حيث أن القشرة الجديدة تتكون بتقدم بوساطة العمليات المغناطيسية فى قمم نتوءات المحيط. يعطى تباعد أرضية البحار الأفقية فى كلا الإتجاهين الشكل الجديد للقشرة، مسببا الإزاحات القارية كتابع.

الفكرة المتعمقة لتوضيح أساس تباعد القشرة البحرية مع فترات إنعكاس المجال المغناطيسى الأرضى صيغت عام 1963 اعتمادا على مجموعتى بحوث، واحدة منهم فى كندا والأخرى فى إنجلترا. اقترح مؤلفى المجموعتين أن نموذج أحزمة تبادل الشواذ المغناطيسية موجبة وسالبة ربما تكون نتيجة تباعد قاع البحر بعيدا عن النتوء خلال فترة الإنعكاس للمجال المغناطيسى الأرضى. تأتى المواد البركانية الجديدة الساخنة والمذابة على طول قمة النتوء (معروف بماصحبتها إنسياب درجات الحرارة العالية والتصدع الواسع، وعندئذ تبرد إلى درجة حرارة كورى Curie مكتسبة TRM والتى يعرف إتجاهها بواسطة المجال المغناطيسى الأرضى عند هذا الوقت. هذا المواد تتباعد جانبيا حاملة السجل المغناطيسى لقطبية الأرض المغناطيسية، خلاصة الفكرة موضحة فى شكل (5-15) حيث تكون عملية الإنفصال الجنوبى على هيئة تيارات حمل (حرارية) فى الستار مكونة جزء جوهرى للنموذج التكتونى الكروى.

2.5.5 معدل تباعد أرضية البحر Rate sof Sea Floor Spreading:

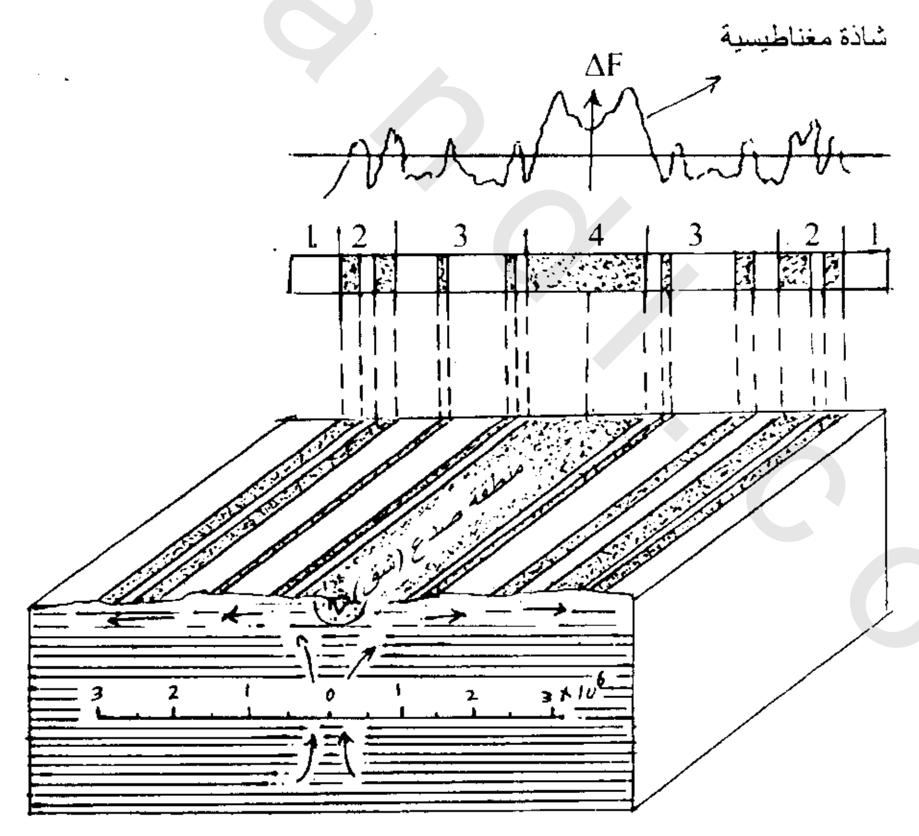
من المعروف أن Q* لبازلت المحيطات أكبر من 1 والتى تدل على أن متبقياتها المغناطيسية تسود عبر الحث المغناطيسى ($J_i<J_r$). لذلك فإن نموذج شاذة المغناطيسية الخطية تفسر فى عبارات لنموذج تداخل مغناطيسى عادى وعكسى فى طبقة البازلت (طبقة 2) من قشرة المحيط. يوضح شكل (5-16) بروفيل لشاذة مغناطيسية مقاسة عبر شرق إرتفاع الباسيفيكى Pacific Rise وتفسيره فى عبارات من نماذج كتلية. يتفق نصف العرض لتداخل مركز المغناطيسية العادية (حوالى 300 كم) فى الزمن مع الحقب العادى الحاضر (حوالى 0.7 مليون سنة) (أنظر شكل 5-12). هذه تخضع لمعدل تباعد حوالى 4.3 سم/سنة على كلا جانبى محور الإرتفاع الأن، وعند مقارنة توضيحية لوحظت عبر المحيطات بين الشاذة المغناطيسية الخطية ومقياس قطبية المغناطيسية الأرضية على أساس جيد لـ 4.5 مليون سنة مضت، دلت على أن معدل التباعد على طول عدة نتوءات يكون من حوالى 1-5 مليون سنة لكل جانب نتوء.

* Q = نسبة كونجسبرجر Konigsberger ratio وهى نسبة NRH الحاضر فى عينات الصخور إلى الحث المغناطيسى بواسطة المجال الأرضى الحاضر F $Q = J_r/K(F/\mu_o)$
حيث J_r = المغناطيسية المتبقية ، K = القابلية المغناطيسية، μ_o = النفاذية المغناطيسية

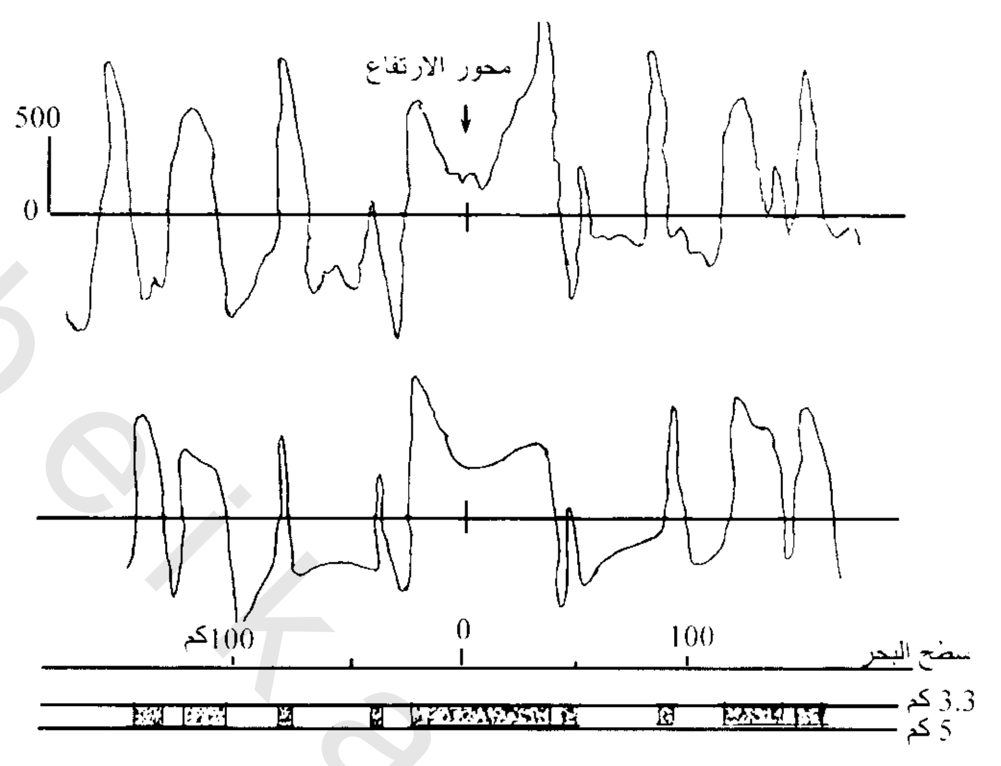
يوضح شكل (5-17): الصورة المبسطة للظواهر المغناطيسية الخطية الموجودة فى محيطات العالم والتى تقودنا إلى بداية ملاحظة لحوالى 50% من تباعد قاع البحر العميق وهذا يعنى أن 1/3 سطح مساحة الأرض، خلقت خلال 65 مليون سنة الأخيرة، ممثلة أكثر حادثة 1.5% من مقياس الزمن الجيولوجى.

بإنشاء مقاييس مغناطيسية أرضية تعود إلى 80 مليون سنة، والتى فيها رقمت سيادة الأحقاب القطبية العادية من 1-32. وقد أدى هذا المقياس ببعض الباحثين الآخرين للرجوع لحوالى 160 مليون سنة على أساس تتابع شاذات هاواى Hawaiian فى المحيط الباسيفيكى وعوريت بإستخدام النتائج الزمنية من مشروع حفر بحرى عميق (Deep Sea Drilling Project (DSDP)) بالمنطقة. ويوضح شكل (4-19) مقياس مصحح للمغناطيسية الأرضية.

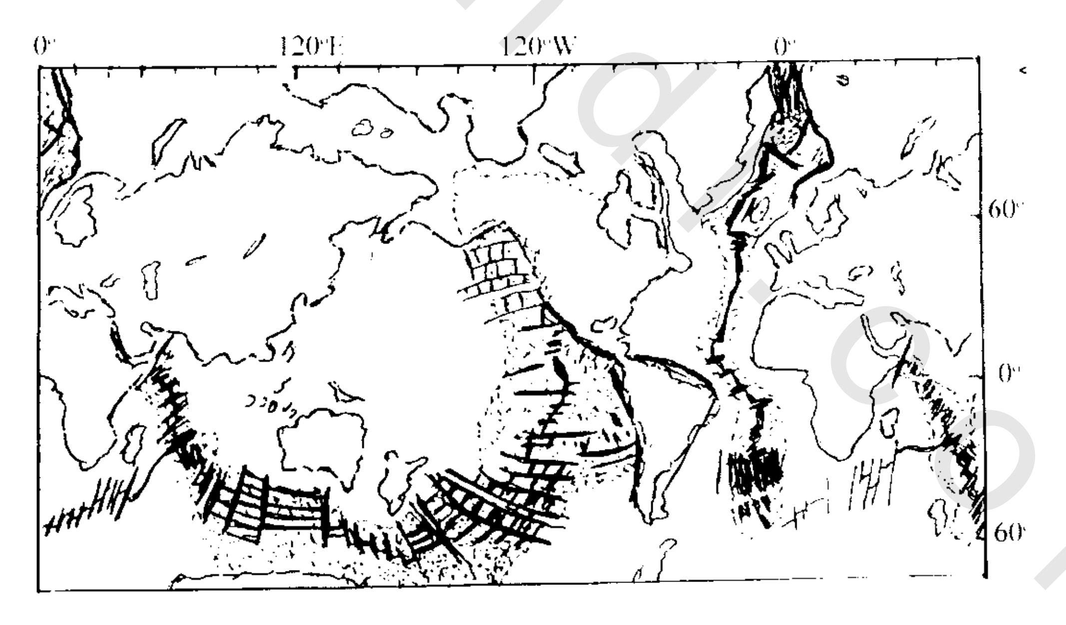
أيضا وجدت دلائل حركة أرضية البحار فى الطبقات الرسوبية لقشرة المحيط. من قياس زاوية ميل المتبقيات المغناطيسية (J_r) لعينات رسوبية لوبيه من عمق البحار، أمكن تحديد خطوط العرض القديمة (المعادلة 5-6) ويعطى الجدول (5-2) مثال لنتائج حصل عليها من مثل هذه الدراسات على عينات لوبية بحرية عميقة من شمال غرب الأطلنطى بواسطة تفسير الميل الضحل مع العمق والزمن الناتج من الإزاحة الشمالية لأرضية المحيط، أمكن الحصول على متوسط معدل إزاحة حوالى 2 سم/سنة منذ العصر الكريتاوى.



شكل (5-15): منظر تخطيطى لتباعد أرضية المحيط كدلالة بواسطة تتابع شاذات موجبة وسالبة والتى نتجت بواسطة مقاطع مغناطيسية عادية ومعكوسة لقشرة المحيط (ألن (Allan 1969). 1- جلبرت Gilbert، 2- جاوس Gauss، 3- ماتواما Matuyama، 4- بريونسى Brunhes



شكل (5-16): المنحنى العلوى بروفيل مغناطيسى عبر إرتفاع شرق الباسيفيكى ونموذج التفسير ككتل مغناطيسية عادية ومنعكسة (منقط وأبيض) المنحنى السفلى محسوب من النموذج بفرض أن معدل التباعد 4.4 سم/سنة.



شكل (5-17): خريطة بسيطة لشاذات مغناطيسية محيطية. الخطوط الثقيلة تشير إلى مقارنة الشاذات الخطية بتوازى قمم النتوءات. وتشير المنطقة المنقطة إلى فكرة تكون القشرة المحيطية خلال السينزوى Cenozeic (أى منذ 65 مليون سنة مضت) (فاين Vine 1972)

جدول (5-2) ميل متبقيات المغناطيسية الطبيعية (NRM) كدالة عمر لعينات لوبية بحرية عميقة من بئر JOIDES رقم 10 (32° 52N) 521°3W فى شمال غرب الأطلنطى.

العصور الجيولوجية	العصر (مليون سنة)	عدد القيم	متوسط قيم الميل (درجة)	الإنحراف المعيارى (درجة)	خط العرض القديم (N°)
بلايوسين	12	14	51.6	5.4	32.2
أوليجوسين	30	10	45.7	5.0	27.1
أليوسين المتوسط	45	6	42.0	4.8	24.2
كمبيان	76	20	35.5	3.1	19.6

مصدر: نتائج (سكلاتر وكوكس Sclater and Cox 1970) باستثناء قيمتين بشدة متناهية الإنخفاض ($NRM < 10^{-4} A/m$).

3.5.5 إرتحال الجزر البركانية والجبال البحرية :Migration of Volcanic Islands and Seamounts

قدم ولسون Wilson 1973 خط برهان مستقل عضد نظرية التباعد التى أشارت إلى أن الجزر البركانية للأطلنطى تكونت أصلا عند منتصف نتوء المحيط وحملت الآن بعيدا بواسطة حركة أرضية البحر. ولذلك يزداد عمر الجزر مع زيادة المسافة من النتوء. تعضد أعمار جزر الأطلنطى والتى حددت للآن بالإستنتاج العام لولسون Wilson، ولكن لاتستطيع التوافق مع فرض معدل التباعد المتساوى.

إكتسبت كثير من الجبال البحرية الموجودة على أرضية البحار الأصلية مثل البركانيات تحت البحار TRM قوية بعد برودتها بواسطة درجة حرارة كورى. ولأن الجبال البحرية تقع على أعماق كبيرة على أرضية المحيط. فمن المستحيل أخذ عينات إتجاهية لدراسة مغناطيسيتها القديمة. ولكن يمكن تعيين الشدة والإتجاه لمتبقياتها المغناطيسية من تحليل الشاذات المغناطيسية المصاحبة لها. دلت النتائج التى حصل عليها من مثل هذه الدراسات على عدد من الجبال البحرية فى الشمال الغربى للباسفيكى- والذى يعتبر من العصر الكريتاوى- إنها إرتحلت شمال غرب بأكثر من 50° لتباعد خطها العرضى من موقعها الأصلى. ويكون من غير المنطقى إرتحال الجبال البحرية بدون إرتحال أرضية البحار نفسها.

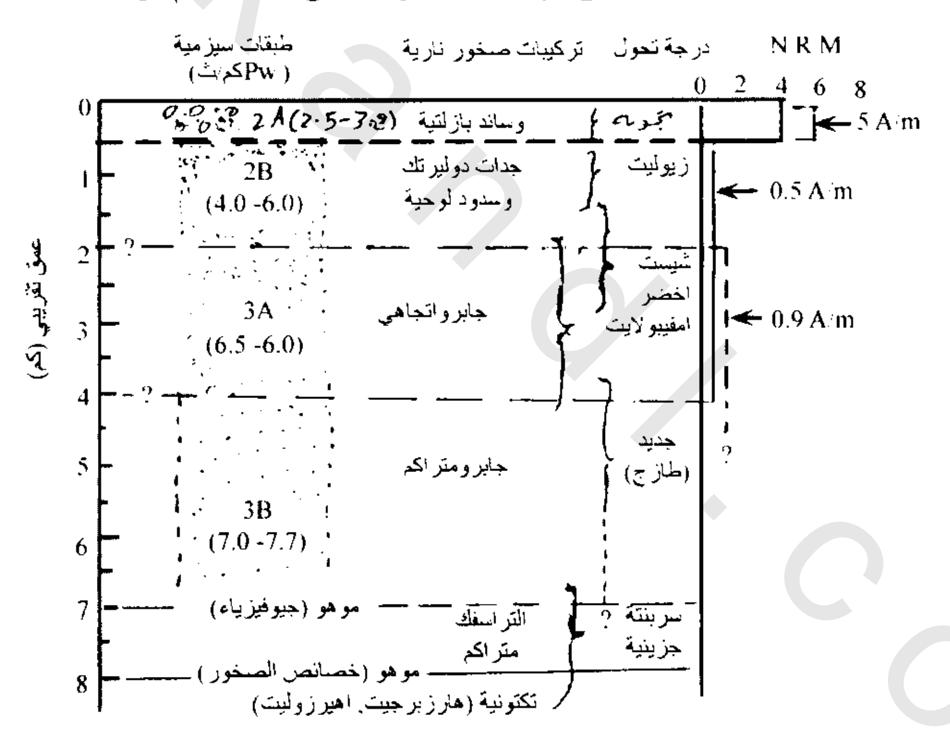
4.5.5 صعوبات بنماذج الكتل المغناطيسية :Difficulties with the Magnetic Block Model

لأن الحركة الحقيقية لأرضية البحر لم تكتشف مباشرة، لذلك سوف يوجد بعض تخطيط نموذج حول المغناطيسية (شكل 5-16). المراكز الغير مؤكدة حول ١) التركيب الصخرى والخواص المغناطيسية للطبقات 3, 2 المحيطية، 2) التعرض فى أختيار النماذج لتفسيرات شاذات المغناطيسية البحرية.

فى عشرات السنين الماضية، تمت دراسة الخواص المغناطيسية بتوسع للعينات اللوبية لمشروع الحفر البحرى العميق (DSDP) للقشرة البازلتية (طبقة المحيط 2) من عدة مواقع. وقد أمد إستعراض المقالات بواسطة باحثين سابقين تفسيرات كبيرة حول هذه العينات اللوبية. وبرغم عدم إمكان عمل إتجاهى كامل للعينات اللوبية، فإن ميل المغناطيسية المتبقية أمكن تحديدها. مجازا، كانت مواقع الحفر قليلة ولكن أوضحت دراسات مغناطيسية قديمة نموذجية لهذه العينات اللوبيه أن ميل NRM تكون ضحلة عن التى لمجال ثنائى القطب الأرضى عندالمكان. وكان أكثر الإندهاش أن لوحظ التغير فى قطبية المغناطيسية من العادى للعكس خلال الـ 500 متر العلوية للقطاع اللوبى (Core section).

ايضا أوضحت عينات (DSDP) من الصخور القاعدية المغناطيسية نموذج لمتوسط تمغنط منخفض (NRM ~3-5 A/m) والتى تكون ضعيفة بحوالى خمس (5) مرات عن عينات الجرف من عدة مراكز متباعدة. ويكون احتمال اضمحلال التمغنط من نتائج انخفاض درجة حرارة التأكسد لمعادن التيتانومجنتيت (titanongnetites)، وتواجده يكون متعلق بالزمن (العصر). لكى تنتج شاذات ملاحظة السعة بإستخدام هذه الشاذات المنخفضة للتمغنط، لذلك ضروريا يجب أن تكون الطبقة المغناطيسية عامة أكبر من المفرض لبعض 55 مترا (وسائد بازلتيه) فى تخطيط نموذج. تكون الطبقة اللابية (النابطه) 2A فقط بعيدة الإحتمال عن كونها سمك كافى، لذلك فإن وحدات الصخور العميقة فى طبقات 2، 3 (خاصة فى الميتاجبرو) تصبح مرشحة لهذه المصادر شكل (18-5).

وضحت دراسات كثيرة لجابرو المحيطات ثبات NRM مع متوسط شدة 0.9 A/m، والتى تكون حوالى 1/5 الناتجة من طبقات البازلت الوسائدية. وكذلك وجد أن متوسط قيمة NRM تكون تقريبا 0.5 A/m للأوفيولايت جابرو. لذلك فإن طبقة الجابرو التى لها شدة NRM من 0.5 إلى 0.9 A/m تصبح منازع هام كمصدر طبقة إضافية للشاذة المغناطيسية البحرية، خاصة فى رؤية لسمك أكبر من التى لطبقة الحمم الوسائدية.



شكل (18-5): نماذج توزيع NRM مع العمق فى قشرة محيطية (كنت وآخرين Kent et al 1978)، بانبرجى Banerjee 1984)، الطبقات السيزمية (بتروسين وآخرين Peterson et al 1974)

بينما مشكلة تعريف (تحقيق) "مصدر الطبقة المغناطيسية" " للشاذات المحيطة، لم تحل للآن بواسطة عينات DSDP، فإن الإجماع العام بأن جميع عمليات الإنتاج والمغنطة لأرضية البحار تكون ظاهريا أكثر تعقيدا من التخطيط النموذجى لـ فين وماتويس Vine and Matthews 1963 النماذج المتتابعة المقترحة لمؤلفين (مثل نموذج اللوح المائل لتداخل الحقن، نموذج إنتقال حد الإنحدار القطبى، طبقتين نموذج معتمد على الزمن) غير

مؤكد استمالها على الفروض. للمصدر الرتبى، فإن الشاذات المغناطيسية المستمرة ذات البعدين تكون مشكلة للمغناطيسية القديمة البحرية.

6.5 دليل المغناطيسية القديمة للتباعد القارى :Paleomagnetic Evidence for Continental Drift

برغم أن فكرة تباعد القارات يرجع تاريخه إلى القرن السابع عشر، فإن الفريد ويجنر Alfred Wegener 1912 أول من عمل صياغة مفهومة لنظرية التباعد، حيث افترض أن جميع القارات الموجودة حاليا كانت متصلة مع بعضها فى قارة كبيرة (بانجيا Pangaea) خلال البالوزوى العلوى upper Paleozoic وخلال الميزوزوى والثلاثى Mesozoic and tertiary. تكسرت بانجيا إلى قطع، وعندئذ تحركت القارات بإتجاه الغرب وإتجاه خط الإستواء أو كلاهما. بعيدا عن التقارب التوافقى لخطوط الشواطئ المقابلة للقارات (مثل أفريقيا وأمريكا الجنوبية)، فإن ثلاجات بيرموكربونى Permo-Carboniferous التى أثرت على أمريكا الجنوبية، جنوب أفريقيا، أستراليا والهند تمثل السندالرنيسى لهذا التوافق، وذلك باقتراح أن هذه الكتل الأرضية تجمعت حول القطب الجنوبى عند نفس الوقت شكل (5-18).

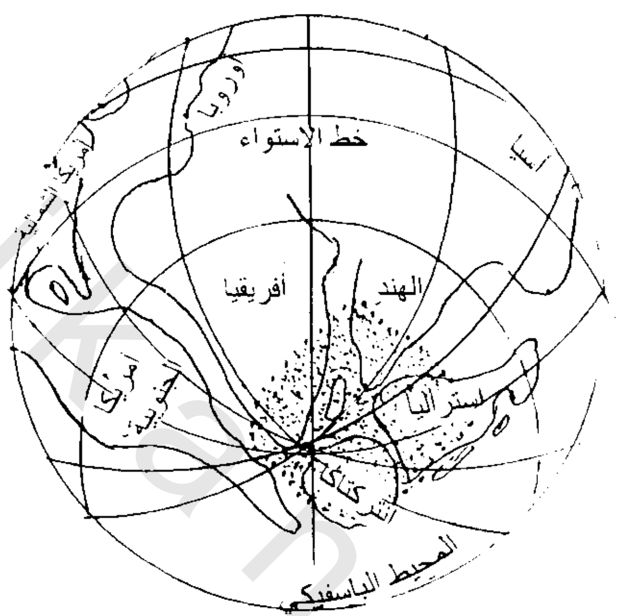
قدمت المغناطيسية القديمة الخط المهم للدلالة فى حل نتيجة هذه المجادلة الكبيرة. وللتعامل مع هذه المسألة يجب الإهتمام بمقياس الزمن لعدة ملايين من السنين لكى تقارن نتائج المغناطيسية القديمة مع تاريخ القارات. تكون قطبية مجال المغناطيسية الأرضية على مقياس هذا الزمن عديمة الأهمية، ولكن السؤال الأساسى ماذا يكون خاصية محور ثنائى القطب فى الجيولوجيا الماضية، بفرض أنه مفتاح هام.

1.6.5 دليل علاقة لفرض محور ثنائى القطب :Evidence Relating to the Axial Dipole Hypothesis

يوجد خطين لإقتراح دليل أن المجال الأرضى تابع لمحور ثنائى القطب فى الزمن البعيد: المغناطيسية القديمة والمناخ القديم. قد رأينا سابقا فى شكل (5-9) أن المغناطيسية القديمة لعصر صخور البليستوسين Pleistocen والبليوسين Pliocene وضحت بإقناع خاصية محور ثنائى القطب للمجال الأرضى. فى نتائج الصخور القديمة، تصبح الحركات التكتونية أكثر معرفة، وتصبح فترات أقدم من الثلاثى Tertiary الأخير لجمع الأقطاب اضعف على مقياس ترابط القارات. ربما تمد المقياس القارى أو شبه قارى الدليل إلى فترات قديمة. وقد أعطت مجموعة ترابط متكاملة للأقطاب الترياسية Triassic من مساحات متسعة متباعدة فى أمريكا الشمالية ومن أقطاب ترياسى وبرمى Triassic and Permian (شكل 5-9) من أوروبا وسيبريا (روسيا) تعضيد فسيح للنظريات بأن المجال المغناطيسى الأرضى كان ثنائى أقطاب سائد على الأقل لمدة 300 مليون سنة. ويكون لتوافق بين محور متوسط ثنائى القطب والمحور الجغرافى، ربما يكون صعب ثبوته بواسطة نتائج المغناطيسية القديمة وحدها، ويجب المعايرة بإستخدام بعض مؤشرات أخرى لخطوط العرض القديمة.

إذا كان المجال الأرضى دائما له خاصية محور ثنائى القطب، عندئذ تكون دلالة المناخ الماضى فى منطقة معينة متوافقة مع خطوط العرض القديمة للمنطقة المحددة بالمغناطيسية القديمة. يفرض فى المناخ القديم أن المناخ الماضى يمكن تحديده بمؤشرات معينة. بواسطة التشبيه مع المؤشرات للمناخ الحاضر، يمكن إستخدام مؤشرات المناخ القديم لأستنتاج المناخات الماضية والمناطق المناخية. مثلا، تشير الكربونات والشعاب البحرية

إلى مناخ دافئ، مناخ استوائى، مناخ شبه مدارى، المتبخرات والطبقات الحمراء الحارة، المناخات الجافة، والطفل الجليدى المتصلب لثلاجات بينية. وضحت خرائط المناخ القديمة التى أعدت بهذه الطريقة أن المساحات الآن الممثلة بواسطة الأقطاب وخط الإستواء كانت دائما فى أو قريب من وضعها الحالى، ولكن تغير مكانها على سطح الكرة الأرضية خلال مسلك التاريخ الجيولوجى. واحد من الأمثلة المشاهدة هى ثلاجات للبرمو-كربونيفرس Perm-Carboniferous الذى حدث مرة فى مساحات هى الآن فى اسفل خطوط العرض (شكل 5-20).



شكل (5-19): توزيع ثلاجات البرموكربونى Permo-Carboniferous مع إعادة تجمع القارات تبعا لنظرية وجنر Wegner لإزاحة القارات (مختارة من هولمز Holmes 1944)

لسوء الحظ فإن تقدير نتائج المناخ القديم لكل نوع لايوكد تحديد خطوط العرض الجغرافية القديمة. ربما، يقل عدم التأكيد عندما تجمع الدلالات الملائمة بحكمة ويمكن بذلك مقارنة كمية لتحديد خطوط عرض المغناطيسية القديمة. دلت الدراسات فى هذا المجال لعدة باحثين سابقين على توافق جيد نوعا ما بين خطوط العرض القديمة المحددة بالطريقتين السابقتين المختلفتين. هذه المقارنة بين المناخات القديمة وخطوط العرض القديمة، مع ذكر سابقا ملائما لأقطاب البرمى Permian والترياسى Triassic على مقياس شبه قارى، وقد ظهر هذا معضدا لنظريات ثنائى قطب مركزية الأرض على الأقل من الباليزوى الأخير Late Paleozoic للحاضر.

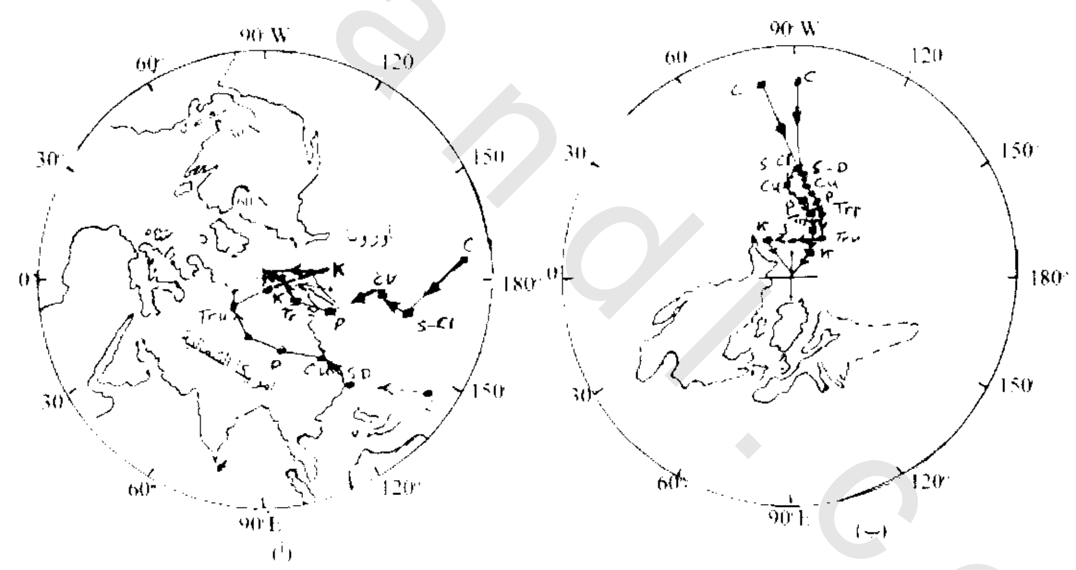
وكتحذير مضاد صارم جدا لقبول نظريات ثنائى القطب، فإن هناك باحثين اقترحو وجود أساس لمركبات عدم ثنائية القطب أو شكل مجال إثنين-ثنائى قطب معقد خلال فترات معينة.

2.6.5 تجوال القطب الظاهرى وتباعد القارات :Apparent Polar Wander and Continental Drift

يوجد طريقتين اساسيتين لتمثيل نتائج المغناطيسية القديمة لمنطقة معطاه عبر عدد من الأحقاب الجيولوجية. فى أحد التقارب، ترسم أماكن سابقة لكتل أرضية فى حدود لخطوط عرض المغناطيسية القديمة وكذلك لسمات (azimuths) بالنسبة للشمال الجغرافى الأرضى شكل (5-10). فى التقارب الآخر، والذى يكون بسيط وأكثر

نفعية، ترسم الأقطاب المحددة للمنطقة من حقب لآخر على الكرة الأرضية الحاضرة، أو على مساقط استراجرافية. يشير المنحنى خلال هذه الأقطاب إلى أن منحنى تجوال القطب الظاهرى Apparent Polar Wander (APW) (لهذه المنطقة المخصوصة) هو طريق التأرخ الذى ربما تبعه القطب. تمثل حركة هذا القطب الظاهرية تجوال القطب الحقيقى أو تباعد القارات أو كلاهما، ولاتستطيع النتائج من منطقة قارة مفردة فقط التوضيح بين الإثنين (تجوال القطب الحقيقى وتباعد القارات). ربما لأن هجرة طريق القطب المغناطيسى (متطابق مع القطب الجغرافى تبعا لنظرية محور ثنائى القطب) تكون ظاهرة كونية، ويجب أن يكون موقع الملاحظ مستقل. حقيقة أن منحنيات APW لأمريكا الشمالية وأوروبا شكل (5-19) لايتوافق أساسا مع دليل المغناطيسية القديمة لتباعد القارات ولوحظ هذا بواسطة ريونكورن Runcorn 1956.

المنحنيات لشكل (5-20أ) يكون صالح إذا تحرك شمال أمريكا بالقرب من أوروبا فى قبول مع نموذج وأحسن تناسب لحافة قارات المحيط الأطلنطى (شكل 12-9). عندئذ تتفق المنحنيات نوعا ما جيدا (شكل 20-5ب) من البرموكربونى Permo-Carboniferous (~300 مليون سنة) إلى زمن الجوراسى Jurossic (~160 مليون سنة) دالة على أن الكتلتين الأرضيتين اتصلا خلال هذه الفترة من الزمن. فى 150 مليون سنة الأخيرة، أو كذلك، فإن انفتاح الأطلنطى تسبب فى تباعد المنحنين. حدث عند نهاية أقطاب الكمبرى Cambrian الأخرى لكلا القارتين تباعد، أدى هذا الإقتراح وجود قدم وإتساع الأطنطى عند ذلك الوقت. وقد أدى قرب أقطاب الكمبرى قريبا من خط الإستواء لإقتراح أن القارات تحركت جنوبا من وضعها الحالى.



شكل (5-20): أ) مقارنة التجوال الظاهرى لطرق القطب لأمريكا الشمالية (دوائر) وأوروبا (مربعات) وتشير الرموز للعصور J جوراس، K كريتاوى، Tr ترياسى، Tru تراس علوى، Trℓ ترياس سفلى P برمى، Cu كربونى علوى، S سلورى، D ديفونى، Cℓ كربنوى، CL كربونى سلفى (ماكلهينى McEl-hinny 1973). ب) اقترح أن طريقى تجوال القطب فى توافق مع تناسب لقارات شمال الأطلنطى (بيولار وآخرين Bullard et al 1965). اسقاط القطب ستروتجرافيا (ماكالهينى 1973)

3.6.5 إعادة التركيب القديم للقارات Paleoreconstruction of the Continents:

أشار باحثين سابقين أن من نتائج نماذج النتائج من قارات مختلفة لأزمنة معاصرة، يظهر أن الكتل القارية ربما تكرر كسرها وإعادة اتصالها فى عدة طرق. وتبعا لإعادة التركيب (إرفنج Irving 1981) للفانيروزوى (Phanerozoic) (600 مليون سنة مضت) (شكل 5-20)، يمكن تلخيص خطة تجمع وكسر القارات كالآتى:

1.3.6.5 تجمع القارات فى العصر الكمبرى السابق لتكون بانجيا* E (Pangaea) وأحزمة طيات القشرة الصلبة التحت سطحية الأفريقية.

2.3.6.5 إنفتاح المحيط الأطلنطى III فى الكمبرى واتساع تشتت القارات فى الأوردوفيشى.

3.3.6.5 إنغلاق الأطلنطى III فى السيلورى الأخير، منتجة بانجيا D وشبه حزام طيه كالدونيان (Caledonian).

4.3.6.5 حركة عرضية بين الشمال والجنوب القارى فى الديفونى الأول والمتوسط لتجمع لوراسيا** (Laurasia) وإنتاج بانجيا (C) (تشوه الباليوزوى المتوسط، خاصة شمال (نتوء جبال الأكاديان (The Acadin Orogeny.

5.3.6.5 إنشقاق منفرد للورسايا وجندوانا (Gondwana)* لتنتج أطلنطك II فى الديوفونى الأخير.

6.3.6.5 تقارب أطلنطك II فى الكربونى المتوسط (حركة نتوء الجبال الهرسينية Hercynian) لتكوين بانجيا B.

7.3.6.5 إعادة ترتيب التراسى للوراسيا وجندوانا لإنتاج بانجيا A، والتى كسرت فى الجوراسى لتكون أطلنطا الحديثة، الهند، المحيطات القطبية الشمالية.

من المهم توضيح أن البانجيا (خاصة B إلى E) تكون فقط محاولات افتراضية لم تتعرض امدادات نتائج المغناطيسية القديمة نفسها لخطوط الطول، وأختيرت خطوط الطول بواسطة الإضطرار لحركة نسبية صغيرة للقارات، وباسطة اضطرارات أخرى مثل حركة أحزمة نتوء الجبال الكبيرة شكل (5-21).

4.6.5 أمثلة عن تصادم وتزايد القارات: Examples of Continental Collision and Accretion

مثال الإقتراح الخاص لتجزئة وتصادم القارات هو شبه الجزية الهندية والتى نزعت نفسها من أرض جندوانا متحركة بسرعة بإتجاه الشمال واندفعت بمقابلة آسيا، وقد اقترح أن الدفع مازال جارى بسبب الإرتفاع المستمر لسلسلة الهيمالايا والإنتشار الواسع للنشاط الزلزالى والتكتونى فى وسط منطقة الدفع. يوضح شكل (5-21) لحركة التدرجية بإتجاه الشمال وعكس دوران الساعة للهند خلال الميزوزوى الأخير وعصر السينوزوى.

تطبيق مثال كورديلليرا Cordillera لأمريكا الشمالية هام جدا فى كثير من الإزاحات الأرضية والألواح الصغيرة، والتى مغناطيسيتها القديمة واضحة الإزاحة المنظمة من منحنى المرجع APW لراسخ** أمريكا الشمالية. يوضح شكل (5-22) اقطاب المغناطيسية القديمة للميزوزوى والمخالف حديثا لعدد من أراضى الحافة الغربية لأمريكا الشمالية. وقد حصل على كثير من هذه الأقطاب من وحدات صخرية طباقية، حيث لايوجد غموض حول تصحيح ميل الطبقات. فى مثل هذه الحالات، فإن نتائج متبقيات الميل مسئولة حقيقة من خطوط العرض القديمة (المعطاه بالمعادلة (5-6)) عند زمن إكتساب التمغنط. إذا انحرفت خطوط العرض القديمة عن ماهو متوقع بالنسبة للمساحة فإنه يستدل على إزاحة المساحة بالنسبة للراسخ.

* أم القارات: الأرض المنضمة قبل زحزحة القارات.

** قارة قديمة كبيرة يعتقد أنها تؤلف وحدة برية واحدة، ونشأ عن تشققها وانجراف بقاياها القارات الحديثة الثلاث: أوروبا – اسيا وأمريكا الشمالية.

* جندوانا: قارة عظيمة يعتقد أنها كانت وحدة برية (فى الحقب القديم) ونشأ عن تشققها وإنجراف النواتج قارات أفريقيا، أمريكا الجنوبية، استراليا، جنوب آسيا والقارة القطبية الجنوبية.

** راسخ (craton) كتل صخرية راسخة تحدث بينها الطيات المقعرة.

يمكن رؤية إتجاه الإزاحة العامة فى إتجاه الشمال فى شكل (5-22)، بمعنى أن أغلب الأقطاب المخالفة تتحرك نوعا ما من مواقع الأقطاب المعاصرة لمنحنى مرجع أمريكا الشمالية. بالإضافة، بالنسبة للمواقع، فإن أغلب الأقطاب الحائدة زيحت فى إتجاه اليمين، دالة بذلك على دوران فى إتجاه عقارب الساعة. حقيقة، فإن أغلب الأراضى متحركة، ويبدو أغلبها كأجزاء قشرية غريبة تتصادم وتتزايد لحافة راسخ أمريكا الشمالية أثناء عصور الميززوى والسينوزوى المتقدم.

5.6.5 شبه قارات البروتيروزوتك Proterozoic Supercontinent:

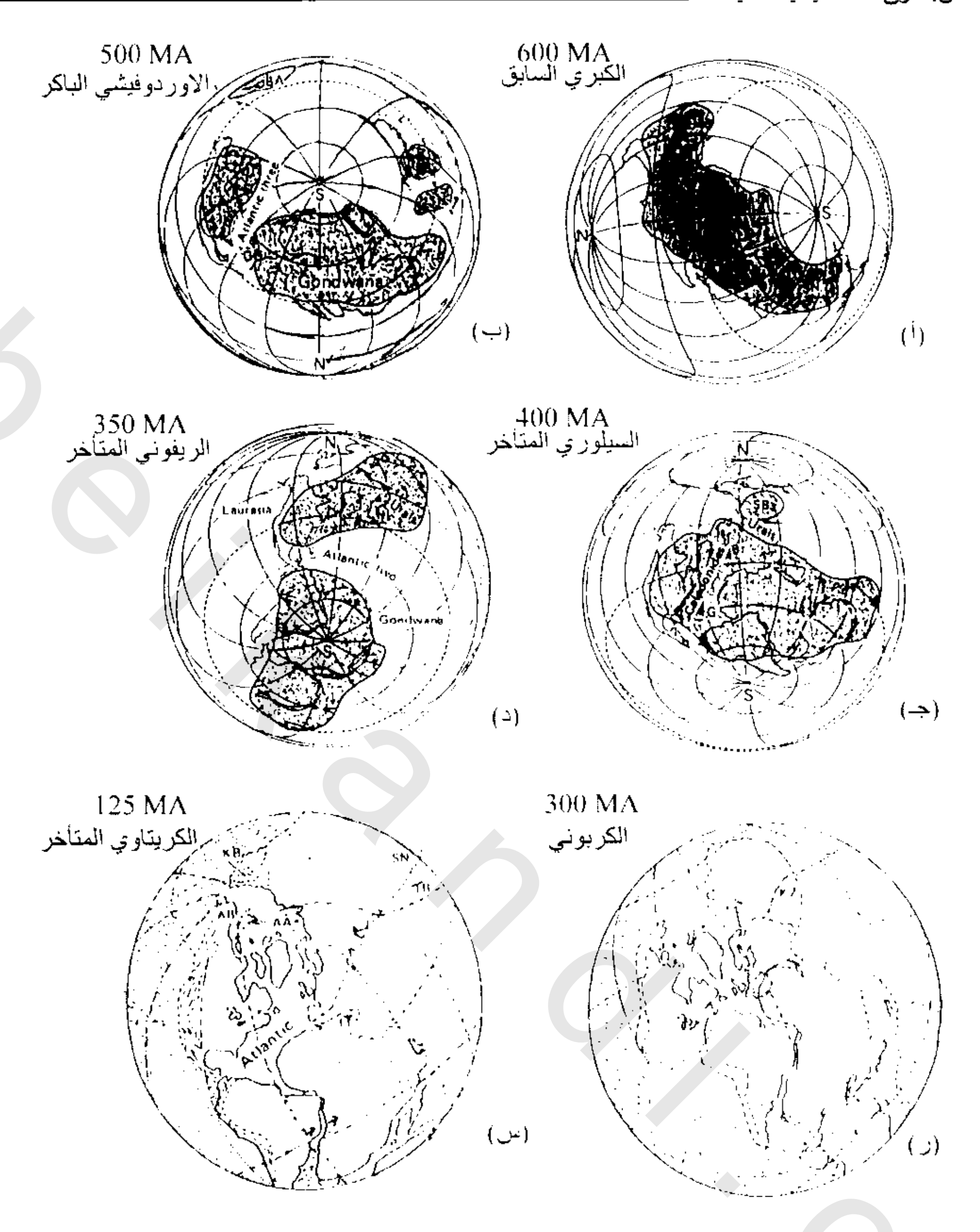
يكون إعادة شكل القارات فى عصر البركامبرى صعب، وتزداد الصعوبة بازدياد الزمن. هذا لأن النتائج الإشعاعية الدقيقة التى تمثل عصر التمغنط يكون من الصعب الحصول عليها فى أغلب صخور البريكامبرى. عندما تكون النتائج أقل تأكيدا، فإن قطع من طرق التجوال الظاهرى للقطب APW غالبا ما تكون متصلة بطرق مختلفة، وهذه تؤدى إلى تنوع وموقع منحنيات APW. بالرغم من هذا التحديد، فإن نتائج المغناطيسية القديمة للبريكامبرى تكون نتاج معلومات كمية هامة على التوزيع الإحتمالى وتحركات المناطق القارية.

قدمت نتائج المغناطيسية القديمة من أمريكا الشمالية وأفريقيا رأيا بتقارب تشابه طرق APW من 1000 مليون سنة تقريبا إلى 2200 مليون سنة، والطرق تقريبا صالحة بواسطة إتصال مناطق أفرو-أربيان وأمريكا الشمالية لتكون وحدة قارية متصلة شكل (5-23).نتائج المغناطيسية القديمة من القارات الجنوبية علاوة على أفريقيا-برغم من انفصالهم. تكون متوافقة مع تناسقهم (أشكالهم) بالنسبة لأفريقيا أثناء الفترة الأعلى. يوضح شكل (5-23) أيضا أن الأحزمة الأصلية الخاصة بـ 1150±200 مليون سنة أمر ذو بال (قصة استطرادية)، تشتت الآن بواسطة الإزاحة الأخيرة، حيث يحتمل أن تكون ظاهرة متحدة موضوعة على طريقة قوس إتساع شبه قارة البروتوزوى. ومن المحتمل أن التفتت (التجزء) الكبير لشبه قارة البروتوزوى لم تبدأ حتى زمن البروتوزوى الأخير.

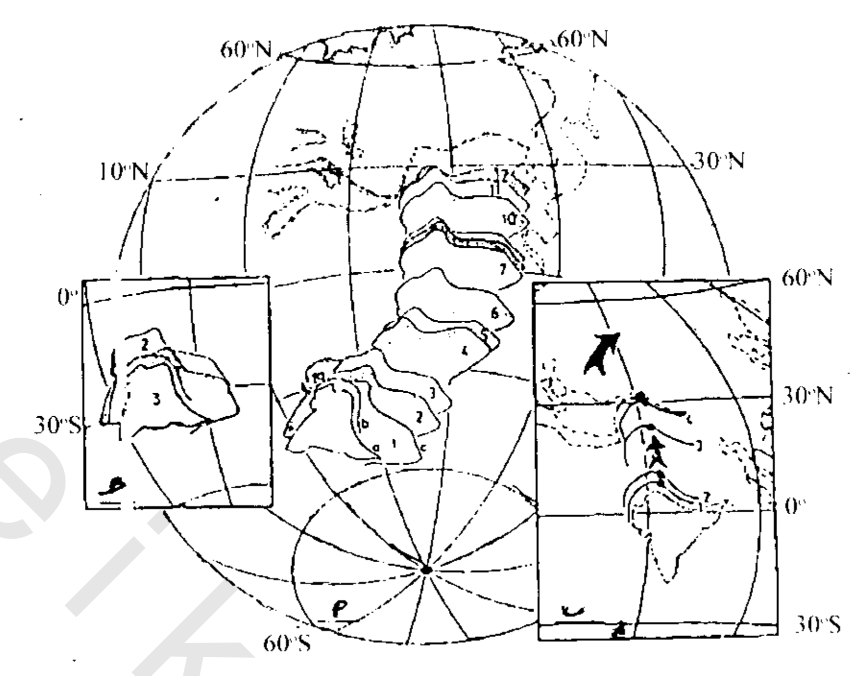
7.5 تطبيق لمسائل متنوعة Application to Miscellaneous Problems:

1.7.5 مقياس تركيبى صغير ومشاكل تكتونية :Small-Scale Structural and Tectonic Problems

تزداد تطبيقات المغناطيسية القديمة لتفسير أنواع كثيرة لمسائل جيولوجية إقليمية متعلقة بالطبقية والتركيب أو التكتونية. أختيرت الأمثلة المشروحة هنا أولا لتوضيح إستخدامات الدراسات المغناطيسية القديمة فى إمداد معلومات جيولوجية.



شكل (5-21): خرائط إعادة تركيب قديم. أ) تجمعات بانجيا عند نهاية البريكامبرى، SB الدرع السيبيرى، SN الدرع الصينى. ب) افتتاح أطلنطى III واتساع إنتشار القارات، BA البلطيقى، G البريطانى، ليورنتيا. ج) إنغلاق أطلنطى III وتكوين حزام الطى الزائد الكاليدونى وبانجيا الجديدة. د) إفتتاح أطلنطى II وإنشقاق تباعدى ليورسيا وجندوانا. ر) إنغلاق أطلنطى II فى منتصف الكربونى (حركة نتوء الجبال الهرسينية) وتجمع بانجيا أخرى. س) أدى إنكسار البانجيا فى الجوراسى لتكوين الأطلنطى الحديث، الهند ومحيطات أركتك Arctic ، نسبيا كان إتساعها صغير فى أزمنة الكريتاوى [(أ-د) مورل وارنفج Moral & Irving 1979، (هـو) إرفنج Irving 1981]



شكل (5-22): انحراف إتجاه الشمال ودوران عكس اتجاه الساعة للهند الكبرى (Greater India) تابع لإنكسار الميزوزوى الأوسط من جواندوان لاند Gondwanaland (كلوتوجيك وآخرين Khoetwijk et al 1981)). أ) اتجاه خط عرضى من الهند من الميزوزوى الأوسط إلى الميوسين الأخير (12a1) مستخرجة من دراسات المغناطيسية القديمة لصخور قارية وعينات لوبية من مشروع PSDP من المحيط الهندى. ب) أماكن خطوط عرضية قديمة لتداخلات لاداك Ladakh عند حوالى 50-20 مليون سنة. ج) أماكن خطوط عرض الميزوزوى الأوسط القديم لشبه قارة الهند الباكستانية IndoPakistan مستخرجه من تحول أقطاب الجوراسى الأوسط من أستراليا وأنارتيكيا Australia & Anartica.

1.1.7.5 إنحنائية اليابان Bending of Japan:

تعرضت جزر اليابان لكثير من تفسيرات المغناطيسية القديمة.وضح كاواى وآخرين Kawai et al 1961 أن إختلاف توافقى لحوالى 53° فى الإتجاهات الرئيسية (إنحراف فقط) لـ NRM موجود من جانبى الشمال الشرقى والجنوب الغربى لقوس اليابان، بينما صخور الترشرى وصخور ماقبل الترشرى (الثلاثى) -Pre) (Tertiary وصخور الرباعى (Quaternary) من كلا جانبى طيه ترى الإتجاهات التى تقترب إلى الشمال الجغرافى وايضا كل للاخر. وقد علل بعض المؤلفين، أن الإختلاف فى الإنحراف يعزى إلى التشوه الأساسى عند الوسط إلى إمتداد حوالى 53° فى الثلاثى المتقدم (المبدر). هذا الإستنتاج يتوافق مع الحقيقة إن المحاور الأساسية لجانبى الطيه غرب وشمال شرق مكونة زاوية على الخريطة الحالية حوالى 123° دالة على إنحناء تقريبى خلال 37° حول الوسط لجزيرة هونشو Honshu الأساسية.

2.1.7.5 دوران اسبانيا Rotation of Spain:

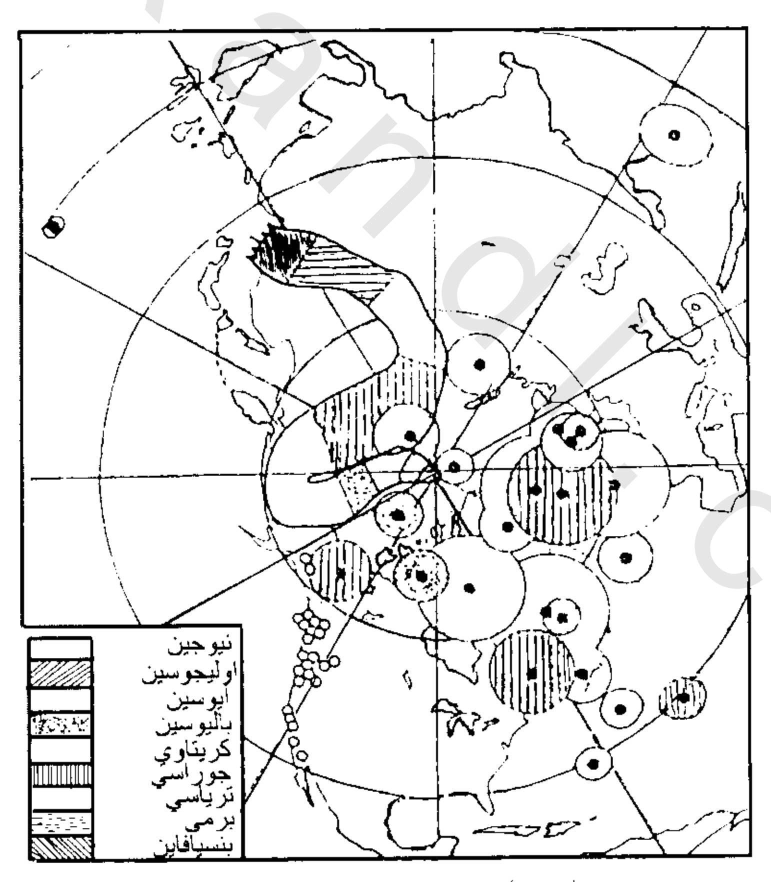
فكرة أن شبه جزيرة إبريان Iberian عانت (كابدت) دوران عكسى مسار الساعة مشهورة بين كثير من مقترحى الإزاحة، وفى فرض خاص لكارى Carey 1958 على أسس جيولوجية فقط، بين أن شبه جزيرة ابريان تعرضت لدوران عكس الساعة خلال 35° بالنسبة إلى مستقر (إضافى – ألبين Alpine) أوروبا فى أزمنة الميزوزوى المتأخر. تمت عدة دراسات مغناطيسية قديمة متعلقة بدوران أسبانيا. وقد وضحت نتائج عينات صخرية من تداخل البرمى والكربونى (Permo-Carboniferous) تعرضت إلى إختبارات أنها رضخت

لإنحراف مغناطيسية قديمة التى تختلف بحوالى 35° من التى لأوروبا المستقرة. ويكون الإنحراف فى الميل غير ذات أهمية. وقد وضعت دلائل المغناطيسية القديمة صاعدا بواسطة فان درفو (VanderVoo) حيث عضدت باقناع مواجه دوران ضد الساعة بواسطة كارى (Carey).

إتفقت النتائج الحديثة للمغناطيسية القديمة من رسوبيات الميزوزوى لأسبانيا مع الإستنتاجات الأولية حول الدوران واقتراح الدوران البادئ فى أزمنة الكريتاوى المتوسط (Mid-Cretaceous).

3.1.7.5 الدوران النسبى لكتلة بوهميان Relative Rotation of Bohemian Massif:

أنجز بركنجمجير وآخرين Birkenmajer et al 1958 دراسات مغناطيسية قديمة للصخور النارية والرسوبية لزمن الكربونى العلوى من حوض سبودتك الداخلى Inner Sudetic كتلة بوهميان Bohemian. وقد وجد إختلاف هام لحوالى 17° فى إنحراف المغناطيسية اقديمة للمنطقتين شكل (5-25) مع وجود توافق كامل بين النتائج المقاسة على الصخور النارية والرسوبية. ايضا، الإختلاف فى الزمن، أو فى إعادة التمغنط الثانى، لاتظهر القدرة لتفسير الإختلاف الهام فى إنحراف المغناطيسية القديمة بين المنطقتين. لذلك استنتج بركنجير وآخرين أن حوض سيودتك الداخلى وكتلة بوهميان تعرضت نسبيا لدوران بعد الكربونى حول محور رأسى خلال 17°. بينما دليل المغناطيسية القديمة للدوران تظهر اقناع تام، بسهولة بسيطة تصميم أى مساحة دارت بالنسبة لأوروبا ككل.



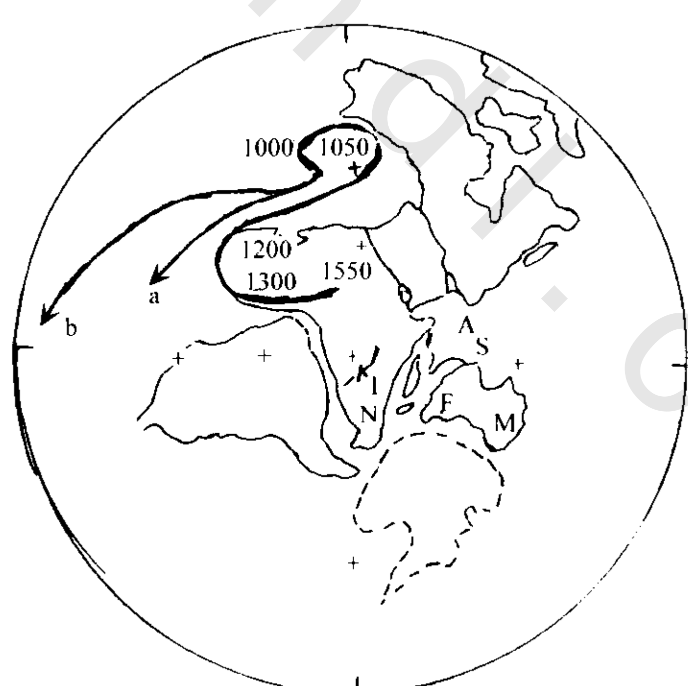
شكل (5-23): تنقيط لإنحراف للميزوزوى وأماكن أقطاب حديثه من غرب كورد يلليرا شمال أمريكا Cordillera N. America بمقارنة مع طريق تجوال القطبى الظاهرى لشمال الرواسخ الأمريكية إرفنج 1979 Irving. تشير الدوائر المفتوحة إلى مواقع العينات والمغلقة إلى الأقطاب بتوافق موثوق 95%. شارما أعاد الرسم من (فان درفوسانيل Candervoo and Channele 1980).

2.7.5 تزمين (تارخ) المغناطيسية القديمة والإستراتجرافية المغناطيسية

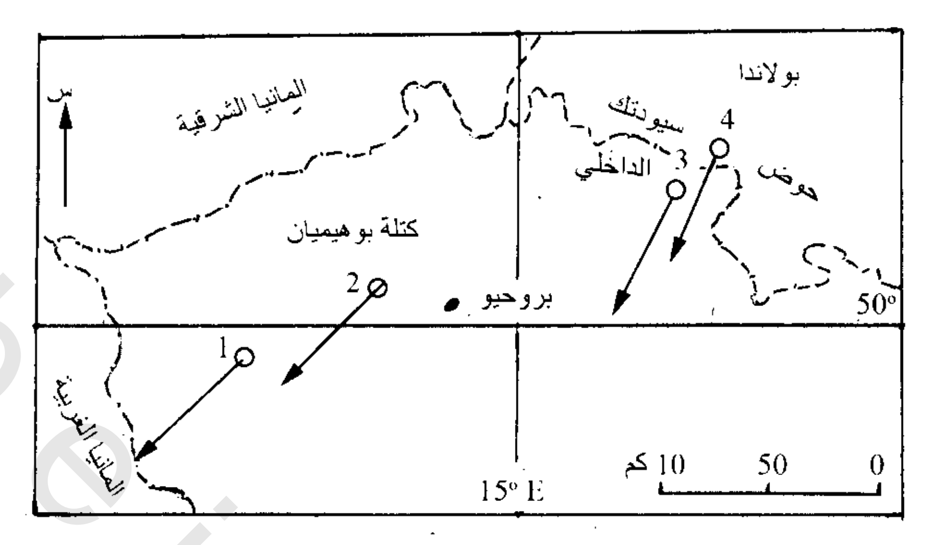
Paleomagnetic Dating and Magnetostratigraphy:

أنتج زيادة زمن الصخور من كتلة استقرار شبه قارى متوسط أماكن قطب المغناطيسية القديمة والتى زادت إزاحتها من مكان القطب الحالى. لذلك، يمكن تعيين زمن المتبقيات من أماكن الصخور بواسطة تحديد مكان متوسط قطب المغناطيسية القديمة على منحنى تجوال القطب المعروف لنفس استقرار الكتلة تكتونيا. ومن الضرورى التحديد الدقيق لمنحنى تجوال القطب خلال قياسات يعتمد عليها قبل إستخدامها للتارخ المغناطيسى للصخور الخاصة لنفس الوحدة التكتونية. ويكون لتطبيق الجهد للمغناطيسية القديمة كأداة تارخ أهمية خاصة فى دراسة صخور رسوبية غير حفرية.

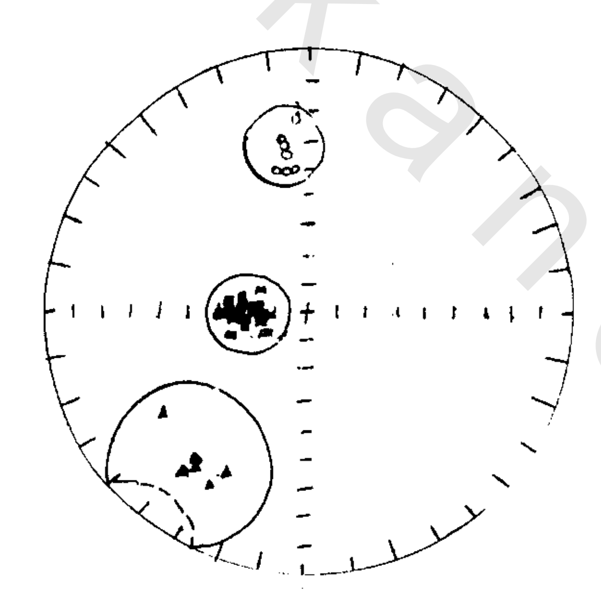
الإختلافات الواضحة فى إتجاهات المغناطيسية القديمة الناتجة من صخور تكونت أثناء إحداث كبيرة لصخور نارية فى مساحة تكون هامة جيولوجيا حتى عند عدم منشأ لمنحنى تجوال القطب للمساحة. أيضا لايمكن تقدير قيمة الإختلافات الزمنية الهامة فى إتجاهات المتبقيات. مثال ذلك، ترى سدود ماقبل الكمبرى لنفس الإتجاه (سلسلة أبينتى Abitibi) فى الدرع الكندى، ثلاث مجموعات مختلفة الإتجاه شكل (5-26) ولذلك يحتمل أن تكون هذه المجموعات لثلاث عصور مختلفة. فى دراسة تمت بواسطة فاهرج وآخرين Fahrig et al 1965 لسلسلة سدود ماكينز (Mackenz) (أيضا فى الدرع الكندى) حيث وجد أن إتجاه العينات المجمعة من سدود متباعدة باتساع وتختلف فى على الأقل بـ 30° أنها أحسن ما جمع. أدى هذا الإقتراح أن تداخل السلسلة حدث لصخور نارية لأجل قصير نسبيا.



شكل (5-24): إعادة تركيب قارات جندوانا وشمال أمريكا قبل حوالى 1000 مليون سنة. BP اشتقت من نتائج المغناطيسية القديمة. أحزمة حركات بناية الجبال تختص بحوالى 1200 مليون سنة (A) أرافالى (Aravali) ، (F) فرازر Frazer ، (G) جرنفيلى (Gerenvelle) ، I إريوميد (Irumide) ، (K) كبران (Kjbaran) ، (M) موسجراف (Musgrave) ، (N) نماكيولاند (Namugualand) ، وبدء تجمع طرق تجوال القطب الظاهرى من حوالى 1000 مليون سنة لشمال أمريكا (a) وأفريقيا (b) (بيبر Piper 1974)



شكل (5-25): خريطة خطية توضح مناطق العينات في حوض سيودتك الداخلي (3 ,4) وكتلة بوهميان (1 ,2) لصخور الكربونى العلوى. وأيضا ترى إتجاهات المركبة الأفقية للمغناطيسية المتبقية القديمة للصخور المدروسة (بركنمجير وآخرين (Birkenmajoer et al 1968

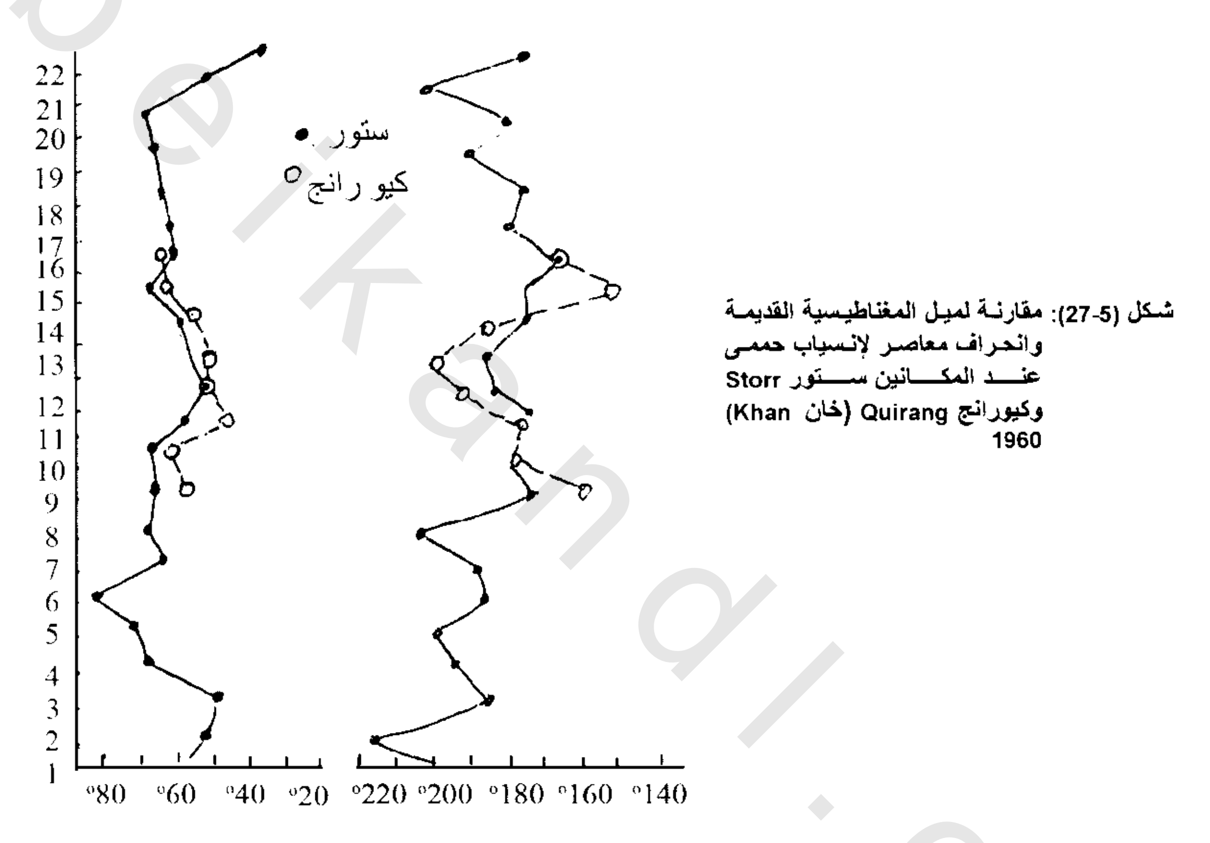


شكل (5-26): تأرخ نسبى بواسطة اتجاهات المغناطيسية المتبقية. سدود بنفس الإتجاه فى كندا. سلسلة أبيتى (Abitibi)، ترى ثلاث اتجاهات واضحة ومن المحتمل لها ثلاثة عصور مختلفة (لاروسيللى Larochelle 1966، إعيد الرسم بواسطة تارلنج (Tarling 1971

توجد عدة تقارير مقارنة لتتبع حممى عند أماكن مختلفة بواسطة مطابقة إتجاهات NRM لها. مثال ذلك مقارنة استخدام إتجاهات المغناطيسية المتبقية كما فى شكل (5-27) الذى يوضح تتابع حمم الثلاثى على منطقتى ستور Storr وكيورنج Quirang باسكتلاند Scotland المتباعدين بحوالى 15 كم. وعرف من الدلائل الحقلية أن لهم نفس العصر، ولكن لم تعمل مقارنة متتابعة بواسطة الطرق الجيولوجية العادية. بواسطة مطابقة الاختلافات لإتجاهات المغناطيسية القديمة فى كل قطاع، فقد وجدت مقارنة جيدة لإنسياب كيورانج Quirang (8 مع بعضهم) مع الإنسيابات من 10-17 عند ستور Storr.

يشير إستخدام قطب المغناطيسية الأرضية كعلاقات أفقية فى التكوينات البركانية والرسوبية لنتائج جزية الثلج Iceland التى تعود إلى سنة 1950. منذ ذالك، تستخدم الطريقة باتساع كإضافة إلى التخريط الحقلى فى جزيرة الثلج وأمكان أخرى.

برهنت الإستراتجرافية المغناطيسية للرسوبيات على التقدم للأهمية الكبيرة فى الجيولوجيا البحرية. العينات اللوبية (core) البحرية العميقة لها فائدة فى التسجيل الرسوبى الذى يعرف بالإستمرارية، والتارخ النسبى للقطاعات يمكن عملها أكثر دقة. ويوضح شكل (5-28) مقارنة استراتجرافية مغناطيسية لبعض عينات انتاركتك Antarctic. ويمكن أيضا حساب معدل الترسيب والذى يختلف فى العينات المدروسة من 1 إلى حوالى 8 ملليمتر لكل ألف سنة. إستخدمت الإنقلابات القطبية غالبا كأداة استراتجرافية تامة، حيث تسمح ملاحظة وقت تزامن الطبقات فى قطاعات استراتجرافية ذات اتساع تباعدى بدون حفريات شائعة وسحنات مختلفة.

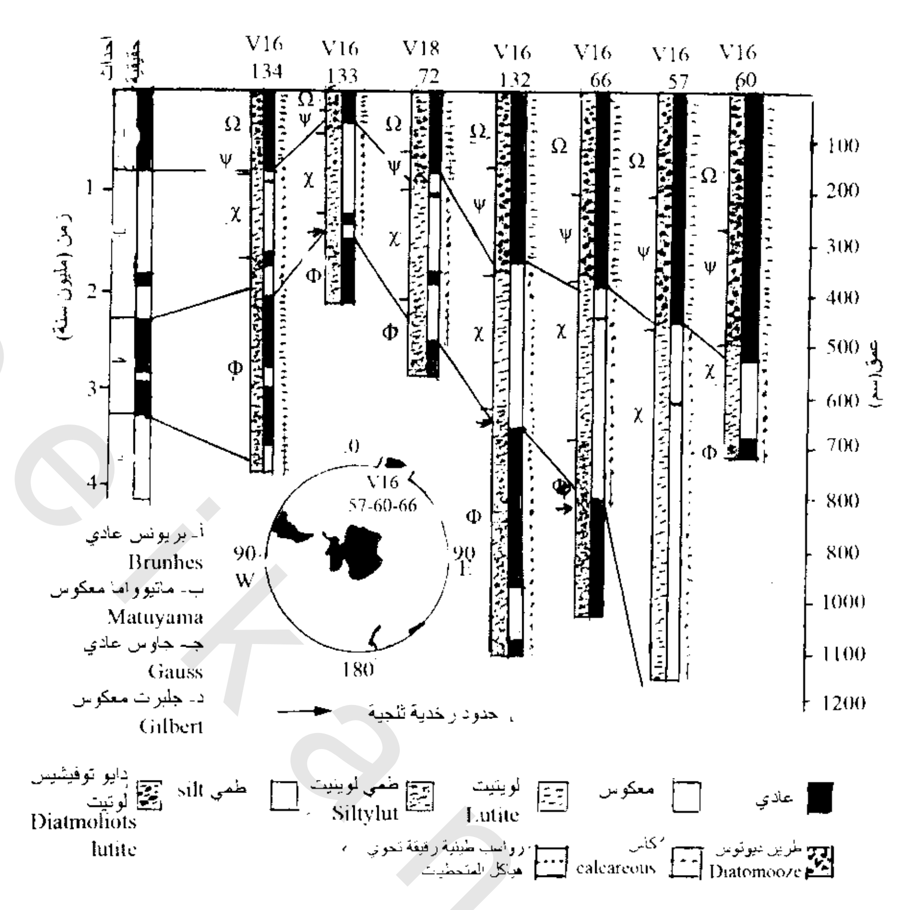


شكل (5-27): مقارنة لميل المغناطيسية القديمة وانحراف معاصر لإنسياب حممى عند المكانين ستور Storr وكيورانج Quirang (خان Khan 1960)

إمتدت طريقة المقارنة هذه إلى الرسوبيات القديمة من كلا المحيطات والقارات. فى حالة خاصة ، درس بتفصيل كبير مجنوستراتجرافية قطاع جيوبو Gubio فى إيطاليا Italian فى إتصال بربط قاعدة الشذوذ رقم 29 شكل (4-19) مع تواريخ علم الحفريات القديم لتتابع معكوس يقطع حد الكريتارى – الثلاثى. إرتفع هذا الحد بمقدار جيد ذات أهمية بسبب انقراضات ذات إتساع عالمى لأنواع كيرة من أصناف (شاملة مجموعات كبيرة من الحيوانات والنباتات) عند هذا الزمن والتى تختلف بريا* وغير برى** باقتراح اسباب لذلك. تكون الدقة فى مقارنة مجنوستراتجرافية قطاعات رسوبية مثل علاقة حد كريتاوى-ثلاثى عند أماكن متباعدة حاسمة جدا لاختبار عصور منقرضة ، أعيد الإشارة إليها بواسطة تغير الفرومنيفرا فى قارات مختلفة وقطاعات بحرية.

* تشمل بركانيات ممتدة ومناخ قاسى وتغيرات جغرافية المحيطات.

** بين هذه أحداث كارثية لإنفجار النجم الكبير وكذلك أخذ فى الإعتبار تصادم الشهب.



شكل (5-28): مقارنـة للمغناطيسية الإستراتجرافية فى سبع عينـات لوبيـة Cores من أنتاركتك Antarctic ، ترى المواقع فى الإدخال. الحدود بين مناطق الحفريات ترى عند شمال كل قطاع (أوبديك Obdyke 1968)

3.7.5 مغناطيسية الأثار والتغيرات القرنية :Archeomagnetism and Secular Variations

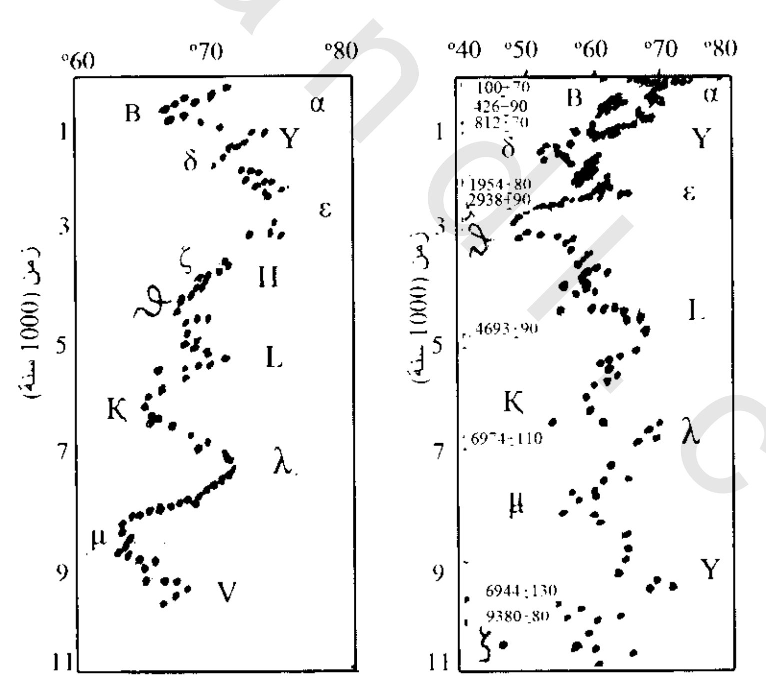
تعود تسجيلات المراصد المغناطيسية إلى 400 سنة، وهذه الفترة من الزمن قصيرة جدا للسماح بتوقع سلوك زمن طويل للمجال المغناطيسى الأرضى. تطبيق التسجيل الممتد بواسطة طرق المغناطيسية القديمة لتأرخ المواد الجيولوجية التاريخية، إلى تسجيل تاريخيا لإنسياب الحمم، وهى نوعا ما أقل دقة لتأرخ رسوبيات رقيقة. غالبا تستخدم قوالب طوب المبانى، جصاصة خزف، قراميد، خزف، طين رقيق،..إلخ، فى امتداد التسجيل لأزمنة التاريخ وما قبل التاريخ، هذه الطريقة فرع من المغناطيسية القديمة ومغناطيسية الآثار حيث نشأ موضوعها على معرفة التغيرات القرنية لمجال المغناطيسية الأرضية لآلاف من السنين مضت. وقدتم عمل دراسات تغيرات قرنية لاتجاه المجال عند أماكن مختلفة لفترات معينة بواسطة باحثين من أوروبا، اليابان، الولايات المتحدة الأمريكية وروسيا. لخص تارلنج Tarling 1983 نتائج حديثة من مصادر مختلفة بسبب نقص نتائج مراجع منحنيات تغير قرنى المنشأه لبعض المناطق المحلية فقط. يمكن إستخدام هذه المنحنيات كأداة تأرخ فى علم الآثار.

يمكن تتبع آثار التغير فى الإنحراف والميل للمجال الأرضى خلال الأزمنة الحديثة فى بحيرات الترسيب والذى يكون معدل ترسبها عادة أسرع من رسوبيات البحار العميقة. وقد أشار تومسون Thomson 1982 إلى أن أغلب التغيرات الحديثة يمكن مقارنتها مع تسجيلات مغناطيسية الآثار، ويمكن أن تمد التغيرات القديمة نتائج ملائمة لدوران المتغير القرنى للمجال الأرضى. توجد الآن تسجيلات تفصيلية ملائمة من بحيرات عديدة فى

أوروبا، أمريكا الشمالية وأجزاء أخرى عن العالم. بسبب تأثير التغيرات لقوى الترسيب وماقبل الترسيب، يكون هناك غابا صعوبة المقارنة للتأرجح فى الإنحراف والميل من بحيرة لأخرى. يمكن إستخدام نتائج ^{14}C بدقة كافية، فقط لتسجيلات عينات لوبية قليلة كمؤشرات ملائمة لإتجاه المجال الحقيقى خلال فترات معينة من الزمن. يوضح شكل (5-29) تسجيلات ميل مغناطيسية قديمة لبحيرات ستكروكس وكلين St. Crox and Kylen بمنيسوتا Minnesota بالولايات المتحدة الأمريكية وبحيرة وندرمير بإنجلترا U.S.A. (46° N, 39° W) Windermere (England)، يوجد بعض التشابه بين طرفى النماذج (الميل، الإنحراف) ولكن يوجد طور ناقص فى حدوث الميل الأكبر والأصغر عند الموقعين. سجلت ظاهرة ترقيم (γ, a) مؤخرا فى امريكا الشمالية أكثر من أوروبا. تشير ظاهرة النقص إلى أن هذا الطور الناقص يدل على أن إنحراف التغير القرنى يكون فى إتجاه الغرب. يوجد 90° اختلاف خط طول بين المكانين. حسب معدل متوسط إتجاه الإنحراف للغرب من اختلافات فى عصر ظواهر الترقيم وقد وجد أنه حوالى 0.15° لكل سنة والذى قورن جيدا مع المعين بواسطة خرائط مجال عدم ثنائية القطب التى رسمت لأحقاب مختلفة.

4.7.5 شدة مجال المغناطيسية القديمة Intensity of the Paleomagnetic Field:

درست تغيرات ماضية فى شدة المجال المغناطيسى الأرضى من قياسات مغناطيسية الآثار خاصة فى فرنسا، اليابان، اليونان، وتشسكيوفاكيا. العمل التعقليدى فى الشدة القديمة أولا بواسطة تلبير Thellier 1959 على طوب محمص وخرف لعصر أثار معلوم، وقد قبلت هذه الطريقة بإتساع كطريقة قياسية. وقد وضعت طريقة تلبير



شكل (5-29): تسجيلات تغير قرنى لميل المجال المغناطيسى الأرضى، حصل عليه من نتائج دراسات مغناطيسية قديمة (أ) بحيرة ستروكس وكلية فى منسوتا، الولايات المتحدة الأمريكية، (ب) بحيرة وندمير، إنجلترا Windermer England. منمقارنة تلك التسجيلات قدر معدل الإنحراف إتجاه الغرب للتغير القرنى بحوالى 0.15 لكل سنة.

على أساس PTRM شكل (5-2) تكتسب T_1 إلى T_2 ,PTRM , $(T_1\text{-}T_2)J_L$ حيث تتحمل نسبة ثابتة لـ PTRM، $(T_1\text{-}T_2)J_N$ التى تكتسب فى موقع عند أصل برود الصخر خلال نفس الفترة لاكتسابها تمغنط فى مجال شدة قيمة F_A. ويمكن بذلك تحديد الشدة القديمة للمجال من العلاقة الآتية:

$$J_N(T_2-T_1)/L(T_2-T_1) = F_A/F_L \qquad (5\text{-}10)$$

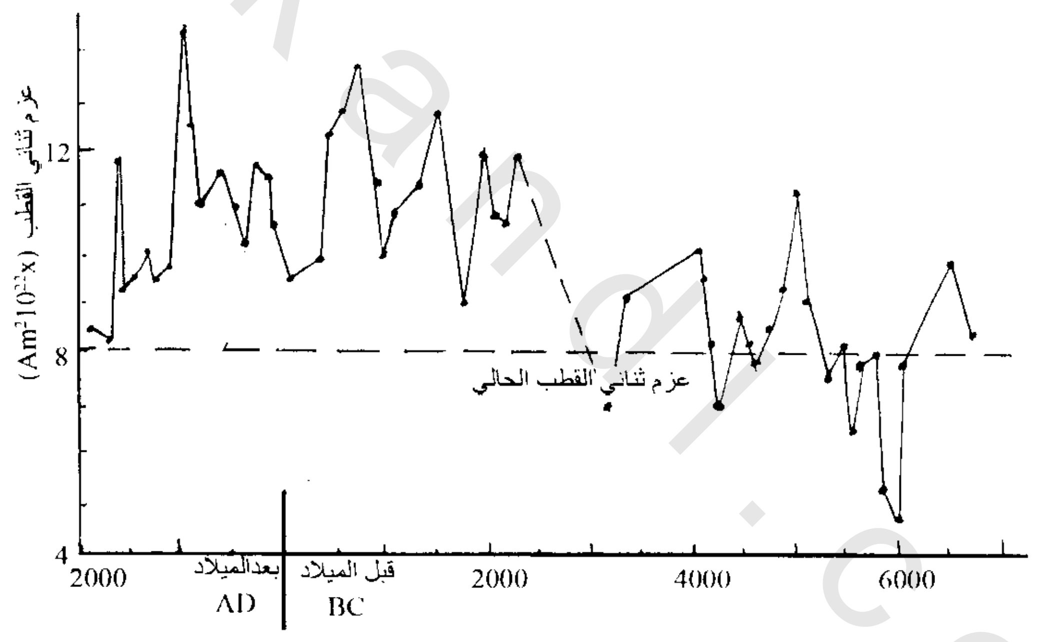
تتطلب طريقة تلبير تكرار التسخين والتبريد والتى تنتهى كل وقت. فى السنوات الحديثة، جرب بعض الباحثين بنجاح متغير بعض الطرق المعدلة التى تحتاج تسخين مفرد. لخص بوشا Busha 1970 نتائج الشدة القديمة الأولى، والتى تدل على أن المجال الأرضى نقص فى الشدة بواسطة معامل لحوالى 1.5 عبر 2000 سنة الماضية.

تشير تغيرات نتائج شدة المجال الأرضى التى حصل عليها فى أوروبا الشرقية والتى وضعت على قياسات اثار المغناطيسية لمواضع (أهداف) تأرخ خلفى إلى 8000 سنة .B.P إلى ظاهرتين مهمتين شكل (5-30):

(أ) بالرجوع خلفا فى الزمن إلى 4000 سنة .B.P اعتبر أن عزم ثنائى القطب الأرضى أكبر من الحاضر.

(ب) تغير شدة المجال الأرضى يكون نوعا ما معقدا عاكسا تراكب لعدة تغيرات مختلفة.

وقد أشارت دراسات جيمس Games 1980 لمجال مغناطيسية الآثار فى مصر مستخدما قوالب طينية مجففة شمسيا إلى تراوح فى شدة المجال بواسطة معامل تقريبى 4 بين 2000، 4000 سنة قبل الميلاد.



شكل (5-30): تغيرات فى عزم ثنائى القطب الأرضى عبر 8000 سنة مضت مستنتجة من قياسات الشدة القدمية على عينات آثار (كوفاشيفا Kovacheva 1980)

5.7.5 اختبارات المغناطيسية لنظريات الإمتداد: Paleomagnetic Test of the Expansion Hypothesis

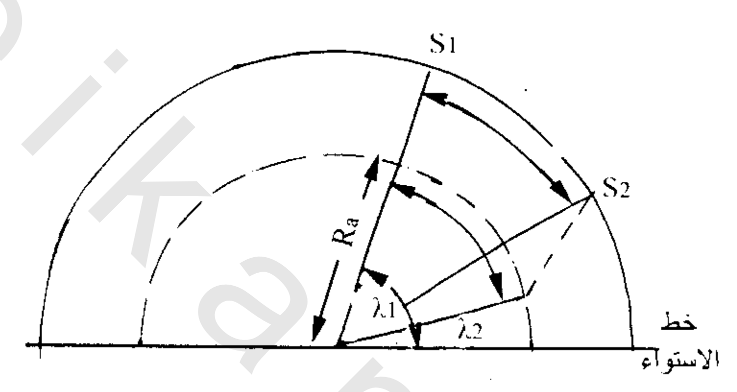
اقترح عدد من المؤلفين (أجيد Egyed 1957، كارى Carey 1976، أوين Owen 1976) أن الأرض تمددت خلال الزمن الجيولوجى. وعامة ضمنت النظريات أن مساحة القارات بقيت حول الثبات وأن أحواض المحيطات نمت مع إمتداد إشعاعى (نصف قطرى) للأرض.

يمكن إختبار فرض تغير نصف قطر الأرض بوساطة طريقة المغناطيسية القديمة. إذا لم تزداد القارات فى المساحة خلال الإمتداد، فإن المسافة بين أى موقعين على الجزء الثابت لقارة واحدة يبقى نفسه. لهذا، إذا زاد

نصف قطر الأرض، فإن زاوية مركز الأرض بين الموقعين تنقص. بفرض أن مجال الأرض القديم يكون ثنائى القطب، فإن نصف قطر الأرض القديم R_a شكل (5-31) يمكن إيجاده من الصيغة الآتية:

$$R_a = \frac{\ell}{\lambda_1 - \lambda_2} = \frac{\ell}{\tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\tan, I_1\right)1 - \tan^{-1}\left(\frac{1}{2}\tan I_2\right)} \qquad (5\text{-}11)$$

حيث ℓ التباعد الحاضر بين دوائر خطوط العرض للموقعين S_1، S_2 و I_1، I_2 زوايا الميل لإتجاه المجال المتبقى فى صخور الزمن المعاصر عند الموقعين.



شكل (5-31): اساس طريقة المغناطيسية القديمة لاختبار فرض تمدد الأرض بزيادة نصف قطر الأرض، فإن زاوية مركزية الأرض بين الموقعين S_1، S_2 تقل مع الزمن والتى أمكن ضبطها من تحديد خطوط العرض القديمة λ_1 ، λ_2 (معدله من مكافهينى McElhinny 1973)

وقد تم تعيين نصف الأرض القديم بواسطة عدد من العاملين فى هذا المجال وارد Ward 1963، فان اندل وهوسبرس Van Andel and Hospers 1968) ومكلهينى وآخرين McElhinny et al 1978) من نتائج المغناطيسية القديمة للبالوزوى المتأخر والميزوزوى، وقد أظهرت قيم R_a أنها لاتختلف بأهمية عن نصف القطر الحالى. هذه النتائج لاتتوافق مع معدل الإمتداد السريع لكارى Cary وأخرين ولكن لاتكون كافية الدقة لنقص التقلص الخفيف أو امتداد لنسبة مئوية خلال 400 مليون سنة الأخيرة.

الفصل السادس

طرق الإستكشاف الكهربى

Electrical Prospecting Methods

1.6 مقدمة Introduction:

الإستكشاف الكهربى متنوع بدرجة أكبر من الطرق الجيوفيزيائية الأخرى. حيث تعتمد بعض طرقها على تاثير المجالات الناشئة طبيعيا مثل التيارات الكهربية الأرضية الناتجة من تفاعلات كيميائية (الجهد الذاتى self potential)، موجات كهرومغناطيسية electromagnetic continuous waves، تيار عابر transient current وتيار أرضى telluric current وهى تشبه فى هذا الخصوص استكشاف الجاذبية والمغناطيسية. وطرق أخرى تحتاج تيارات أو مجالات كهربية تدخل فى الأرض صناعيا، وتشبه هذه الطرق الطريقة السيزمية وتشمل هذه الطرق طريقة المقاومة الكهربية electrical reistivity method وطريقة الاستقطاب التأثيرى induced polarization methods.

تستخدم الطرق الكهربية بكثرة فى البحث عن الفلزات والمعادن وذلك لفاعليتها فى الإستكشاف الضحل حث نادرا ما تعطى معلومات عن ظواهر تحت سطحية أعمق من 1000-1500 قدم. طريقة الاستقطاب الذاتى تكون فعالة فقط لتحديد أماكن الخامات بجوار مستوى الماء الجوفى. أما طريقتى المقاومة الكهربية والكهرومغناطيسية الأرضية فتستخدم لرسم خرائط أسطح صخور القاعدة الموجودة أسفل الأحواض الرسوبية وذلك لاختراقها الكافى للصخور. ولذا تستخدم كثيرا لاستكشاف البترول.

ايضا تستخدم طرق الاستكشاف الكهربى بدرجة متزايدة فى الجيولوجيا الهندسية، حيث تستخدم قياسات المقاومة النوعية لإيجاد عمق المصدر الصخرى، وكذلك فى الإستكشاف الجيولوجى الحرارى.

2.6 الخواص الكهربية للصخور Electrical Properties of Rocks:

يستخدم الإستكشاف الكهربى ثلاث خواص اساسية للصخور:

1.2.6 الجهود الطبيعية Natural potential:

تشمل النشاط الكهروكيميائى electromagnetic activity وتيارات الكهربية الأرضية telluric currents.

2.2.6 المقاومة النوعية (عكس التوصيل النوعى): Resistivity (opposite of conductivity)

تدل على التحكم فى كمية التيار أثناء مروره خلال الصخر عند تطبيق فرق جهد معلوم.

3.2.6 ثابت المعزل الكهربى (ε) Constant of electrical isolation:

يعطى معلومات عن سعة مادة الصخر لتخزين شحنة كهربية ويتحكم جزئيا فى تجاوب تكوينات الصخر للتيارات المترددة العالية التردد والداخلة فى الأرض بوسائل توصيلية أو حثية. وثابت العزل لمعظم الصخور الصلبة يتراوح من حوالى 6-10 وحدات كهرستاتيكية (esu) وللتربة المبتلة والطين يتراوح هذا الثابت من 50-40 (esu). وهذا الثبات يعتمد أيضا على تردد أعلى من 100 هرتز، وكذلك حساس للحرارة ويزداد ε للصخر كلما أصبح الصخر أكثر سخونة.

3.6 طرق الكهربية الذاتية Self-Electrical Methods:

1.3.6 النشاط الكهروكيميائى Electrochemical Activity:

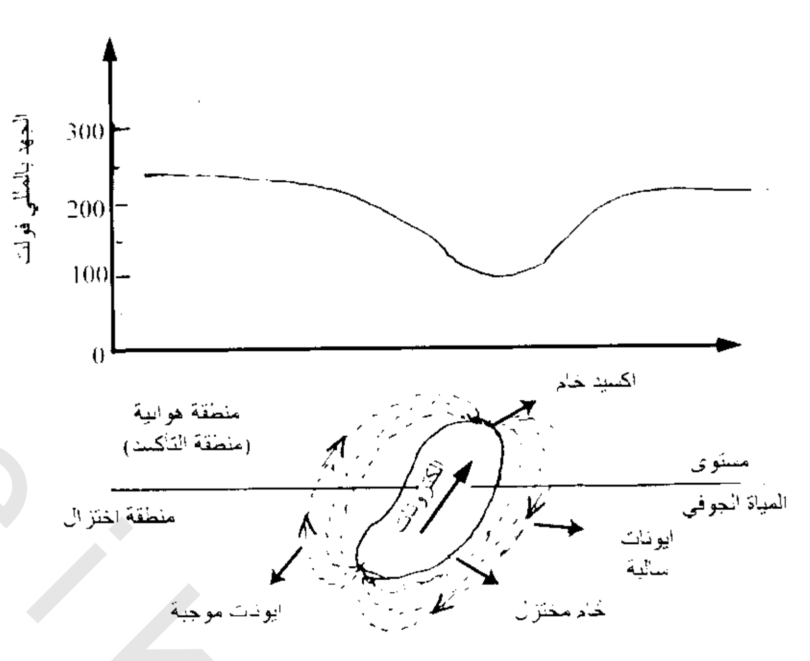
يعتمد النشاط الكهروكيميائى للصخور على تركيبها الكيميائى، وتركيز المحاليل الكهربية المذابة فى المياه الجوفية والتى تتلاشى معها. يحكم هذا النشاط قيمة وإشارة الجهد الناتج عندما تكون مادة الصخر فى إتزان مع المحلول الكهربى الموجودة فيه.

1.1.3.6 طريقة الجهد الذاتى Self-Potential Method:

تتضمن هذه الطريقة قياسات على السطح للجهود الكهربية الناشئة فى الأرض من التفاعل الكيميائى الكهربى بين المعادن والمحاليل الملامسة لها. عند تلامس أجزاء كتلة الخام مع محاليل ذات تراكيب مختلفة، تحدث تفاعلات كيميائة مسببة ضغوط مختلفة للمحلول على مناطق التلامس المناظرة. ويسبب الإختلاف فى ضغط المحلول اختلافا فى الجهد مما يسبب سريان التيار فى الأرض. أى تعتمد هذه الطريقة اساسا على النشاط الإلكتروكيميائى (electrochemical) المنتشر فى خامات معينة مثل الكبريتيدات والجرافيت والتى لها بريق معدنى كبير، وأيضا جيدة التوصيل الكهربى، وتبعا لذلك يكون لها مقاومة نوعية قليلة. مثل هذه الخامات لها سلوك مثل عناصر البطارية (معدن – أكسيد المعدن – حلول حمضى). فى الطبيعة، يكون نهاية الجسم المؤكسد قريبا من السطح بينما يكون الجزء الآخر من الجسم داخل المياه الجوفية.

بذلك يسمح الجزء العلوى السالب (المؤكسد) والجزء السفلى الموجب (المختزل) بانسياب التيار سفليا خلال جسم الخام. ويعود التيار لمحيطات حول الجسم لأعلى، وقياسات فرق الجهد بين النقط يكون على سطح الأرض، ويوضح شكل (6-1) نظام السريان والذى يمكن كشفه بالجهد السالب، والذى يدخله التيار بسريانه على السطح.

وبينما الجهود الأقوى من هذا النوع يتم تنشيطها فى خامات مثل الكبريتيدات فإن عددا من المعادن الأخرى مثل البيروتيت والمجنتيت، تحدث أنظمة مميزة للجهد الذاتى. من الممكن أن تسبب كتلة الوثيت (خام الشبه) شاذة جهد تبلغ 1700 ميلل فولت بسبب تكون حامض خلال تكون الشب من الصخر المحيط. ليس كل كتل الكبريتيدات القريبة من السطح تحدث جهودا شاذة بسبب وجود سطحية كثيرة تمنع التأكسد.



شكل (6-1): بروفيل جهد طبيعى عبر جسم كبريتى، مؤكسد أعلاه

هناك مصادر كاذبة للجهد تطمس تأثيرات التفاعل الكهروكيميائى التحت سطحى. حيث أن التغيرات فى إرتفاع المجال الطبيعى للجهد الجوى تحدث جهودا فى الأرض من الصعب التنبؤ بها. كذلك التيارات الكهربية للأرض (تيارات طبيعة أرضية بإمتداد كروى عالمى، ومتدفقة فى القشرة الأرضية) قد تحدث اختلافات فى الجهد يصعب أحيانا فصلها من الجهود الكهروكيميائية. الجهود السارية يمكن أيضا أن تسبب شاذات كبيرة، أكبر من تلك المصاحبة لأكسدة جسم الخام.

1.1.1.3.6 الطريقة الحقلية والتفسير Field Method and Interpretation:

تكون قيمة شاذات الجهد الذاتى عادة بمئات الميللى فولت ويمكن تحديدها بواسطة أقطاب مسامية شكل (6-2) غير قابلة للإستقطاب متصلة بنهاية جهاز قياس الجهد (مقياس الميللى فولت)، ويتم قياس الجهود على بروفيلات بواسطة أزواج من هذه الأقطاب مع حفظ المسافة بينهم منتظمة. ومن مجموع عدة بروفيلات، ترسم نتائجها فى خريطة لتوضيح الفروق الحقيقية فى الجهد، من هذه الخريطة يمكن معرفة إتجاه إنسياب التيار وعندئذ يمكن توقيع جسم الخام كما فى شكل (6-3).

تنتج فروق الجهد على سطح الأرض من النشاط الكيميائى للخام والذى يتغير مع:

i- الخواص لإلكتروليه.

ii- حجم وشكل جسم الخام.

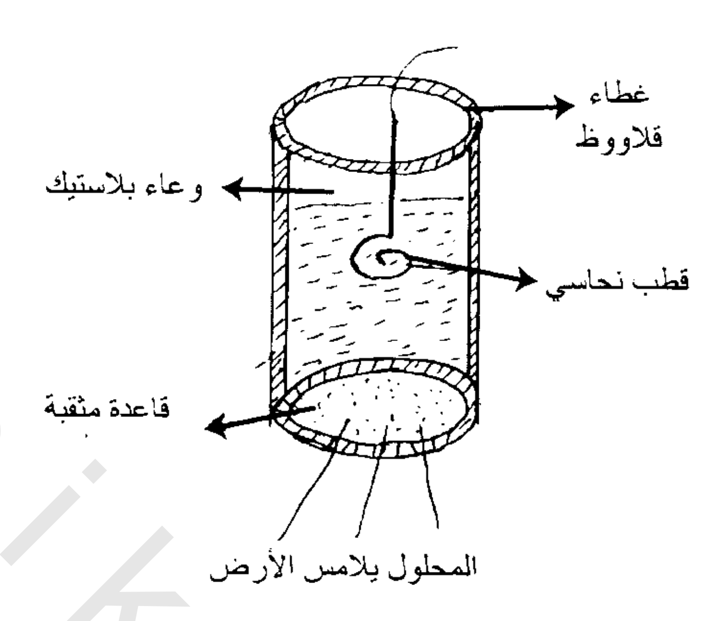
iii- عمق الجسم أسفل سطح الأرض.

يحدد المركز السالب بواسطة قياسات عبر سطح الأرض بواسطة:

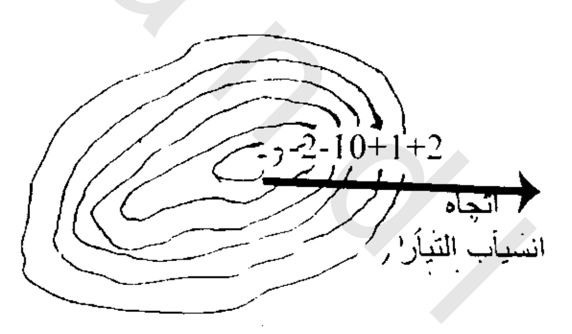
i- توقيع نقط لنفس الجهد،

ii- قياس جهد الأرض عند مسافات منتظمة ورسم خطوط تساوى الجهد،

iii- عمل بروفيلات جهد فى إتجاهات عبر جسم الخام.



شكل (6-2): قطب قياس شاذات الجهد الذاتى



شكل (6-3): خريطة كنتورية توضح فروق الجهد ، وإتجاه إنسياب التيار (القيمة بالمللى فولت)

يمكن إكتشاف المركز السالب مباشرة عبر جسم الخام فقط، عندما تكون تضاريس المنطقة تحت الفحص نسبيا مسطحة.

2.1.1.3.6 قياس الجهد الذاتى Measurement of Self-Potential:

1.2.1.1.3.6 طريقة تدرج الجهد Potential Gradient Method:

فى هذه الطريقة يستخدم قطبى قياس عند أبعاد متساوية نموذجية من 5-10 متر، ويقسم خط المسح المراد قياس فرق الجهد له إلى أبعاد هذه الأقطاب لتعطى تدرج جهدى (ميللى فولت/متر). والنقطة التى تستخدم للرصد هى منتصف المسافة بين الأقطاب ثم تنقل الأقطاب لموقع آخر على طول خط المسح.

2.2.1.1.3.6 طريقة سعة الجهد Potential Amplitude Method:

فى هذه الطريقة يثبت إحدى الأقطاب عند محطة القاعدة على أرض غير معدنية ويقاس فرق الجهد (ميللى فولت) عنده والقطب الآخر المتحرك على طول خط المسح. وتزيل هذه الطريقة مشاكل الإختلاط القطبى وتراكم الخطأ. ويجب الأخذ فى الإعتبار التكفل بأن درجة حرارة المحلول الكهربى* فى القطب المتحرك لاتختلف عن فحوى من القطب الثابت (المرجع) او من نتاج اختلاف قطبى آخر. يتكون الجهد الذاتى من جهد ساكن ومركبة مترددة متغيرة**. وتنشأ الأخيرة بواسطة تأثيرات الأتموسفير، وبطول الوقت يكون للمركبة سعات من نفس الرتبة كجهد معدنى ساكن. لذلك يجب أخذ أكثر من قراة على طول نفس البروفيل فى أوقات مختلفة من النهار، ثم يؤخذ متوسط هذه النتائج. كذلك من الممكن أن تنتج شوشرة كهربية، إذا أخذت القياسات مباشرة بعد مطر كثيف أو بالقرب من أسطح مائية جارية. وكجهد للمجارى المائية، عندئذ ربما يكون للبحيرات جهد معدنى.

عادة مايكون أكبر عمق جس لطريقة الجهد الذاتى حوالى 60-100 متر معتمدا على عمق جسم الخام وطبيعة الغطاء الرسوبى.

يوضح جدول (6-1) ملخص بعض الأنواع الشائعة لشواذ الجهد الذاتى والمصادر الجيولوجية المقابلة لها. بالإضافة لتصنيفات أخرى فإن الشكل الهندسى للتركيبات الجيولوجية يمكن أن يعطى أيضا شاذات جهد ذاتى. ولذلك فإن الجدول يستخدم كمرشد.

جدول (6-1) شاذات الجهد الذاتى ومصادرها الجيولوجية.

المصدر	الشاذة
i- جهود معادن أ- أجسام خامات كبريتدات (بيريت، كلكوبيريت، بيروهوتيت، سفاليرايت، جالينا) ب- أجسام خامات الجرافيت جـ- ماجنيتيت ومعادن ذات توصيل الكترونى د-فحم هـ- منجنيز ى- عروق كوارتز و- بجماتيت	سالب ≈ مئات ميللى فولت موجب ≈ عشرات ميللى فولت
ii- جهود خلفيه	
أ- مجاورى السوائل، تفاعلات كيمياء أرضية.. إلخ	موجب أو سالب ≤100 ميللى فولت
ب- كهربية حيويه (بيوالكتريك) نبات وأشجار.	سالب ≤300 ميللى فولت
جـ- تحركات المياه الجوفيه	موجب أو سالب ≤ مئات ميللى فولت
د- التضاريس	سالب ≤ 2 فولت

* معامل درجة حرارة النحاس – كبريتيد نحاس حوالى 0.5 ميللى فولت/درجة حرارة ، وحوالى 0.25 ميللى فولت /درجة حرارة للفضة – كلوريد فضة.

** حوالى 5-10 هرتز.

3.1.1.3.6 أصل الجهود الذاتية Origin of Self-Potential:

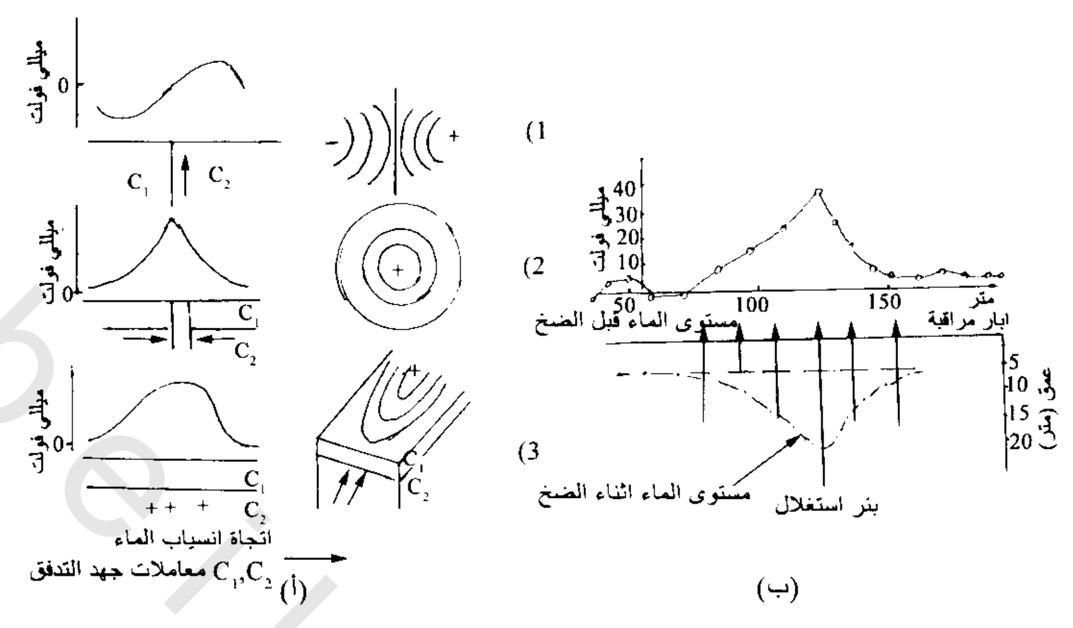
العامل الشائع بين العمليات المختلفة والمسئول عن الجهود الذاتية هى الماء الجوفى، حيث أن هذا الماء مذاب فيه معادن مختلفة، لذلك فإنه يعتبر وسط إلكتروليتى، أنواع هذه الجهود ممثلة فى الجدول (6-2) يوجد ثلاثة طرق توصيل كهربى خلال الصخور بواسطة توصيلات العازل الكهربى، الكتروليتى والكترونى (أوم). يعتمد التوصيل الكهربى (مقلوب المقاومة) على مسامية الصخور وترتيب الفراغات بها وكذلك على حركة الماء (أو سوائل أخرى) للمرور خلال مسافات المسام (عندئذ على حركة الأيونات، تركيز المحالول، اللزوجة، درجة الحرارة والضغط).

جدول (6-2). أنواع الجهود الذاتية وحالتها ومعادلتها الرياضية.

النوع	الحالة	المعادلة
i- كهربية حركية electrokinetic	يتغير مع الزمن	$$E_K = \frac{\varepsilon\mu C_E \delta_P}{2\pi\eta}$$ حيث ε ثابت عازل، μ مقاومة، C_E معامل إزدواج الترشيح δ_P فروق الضغط، η لزوجة ديناميكية.
أ- ترشيح كهربى Electrofilteration		
ب- كهربية ميكانيكية Electrochemical جـ- تدفقات Streamings		
ii- جهد كهروكيميائى electrochemical Potential		$$E_d = \frac{RT(I_a - I_c)}{\eta F(I_a + I_c)} I_n(C_1/C_2)$$
1- جهد إنتشار Diffusion Potential أ- سوائل موصلة Liquid-Junction		حيث R ثابت الغاز العالمى، I_a حركة أنيونات (+) I_c حركة كاتيونات (-)، T درجة الحرارة المطلقة (K)، η تكافى أيونى، F ثابت فرادى (Faraday)، C_1 , C_2 تركيزات المحاليل
2- جهد نرنست Nernst Potential أ- طفلة اشمث		$$E_N = \frac{RT}{\eta F} \ln(C_1/C_2)$$ عند $Ic = I_a$ فى جهد الإنتشار
iii- جهد معدنى Mineral Potential	**ثابت**	

1.3.1.1.3.6 جهود الكهربية الحركية Electrokinetic Potential (E_K):

تتكون هذه الجهود كنتيجة إنسياب الكتروليتى خلال الشعرية أو وسط مسامى ويقاس الجهد عبر نهايات الشعرية وتشمل هذه الجهود الترشيح الكهربى electrofilteration، الكهربية الميكانيكية electrochemical وجهد التدفق streaming potential. وتبعا لقانون هلمهولتز Helmholtz، فهناك علاقة بين التيار الكهربى والتدرج الهيدروليكى ومعامل إزدواجية الترشيح الكهربى (C_E)، والتى تأخذ فى الإعتبار الخواص الكهربية للمحلول الكهربى (الكتروليت) والشبكة التى يمر خلالها المحلول الكهربى. أيضا، من المهم إنسياب المياه أما موازية للحدود الجيولوجية أو مستوى المياه الجوفى.



شكل (6-4): أ) بروفيلات مثالية لجهد ذاتى لكهربية ترشيح وتخريط للنمـاذج (سيشا-فون وكوارتو Schia-Von and Quartz 1984. 1- حد رأسى نابع على استقامته. 2- ضخ من بئر والإدخال فى البئر سينتج معنى شاذة معاكس). 3- إنسياب حدودى أفقى تتميز سطوح التماس بواسطة بتاين فى معامل جهد الترشيح (C_2, C). ب) مثال الشاذة SP ناتجة بواسطة ضخ من البئر(سيمونوف Semonov 1980)

يوضح شكل (6-4أ) رسومات خطية لأوضاع جيولوجية مختلفة لقيم خواص معامل إزدواجية الترشيح الكهربية. CE لكل وحدة جيولوجية، أما شكل 4ب يوضح تزايد التدرج الهيدروليكى بواسطة استخراج مياه حيث زيادة معدل انسياب الماء فى اتجاه البئر، عندئذ يلاحظ موجبية الشاذة.

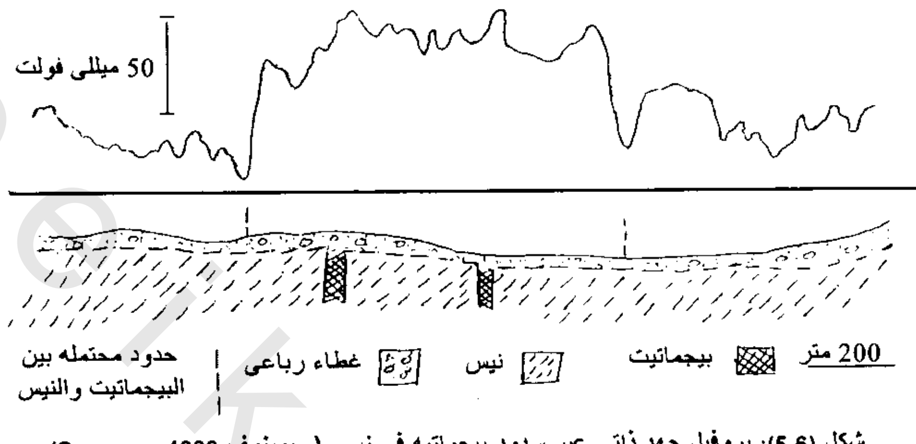
2.3.1.1.3.6 الجهود الكهروكيميائية Electrochemical Potential:

ترتفع جهود الإنتشار (جهود السوائل الموصلة) عبر خلفية عابرة إلى عشرات من الميللى فولت، ربما يعود ذلك إلى الإختلاف فى حركة المحاليل الكهربية التى لها تركيزات مختلفة خلال المياه الجوفية. هذه الخلفية توضح استمرارية وجود خلفية الجهود، لذلك يحتاج إلى مقدرة المصدر لحفظ عدم التوازن فى تركيزات المحلول الكهربى، وإلا فإن اختلاف التركيزات ستختفى مع الوقت بواسطة الإنتشار.

يحدث جهد نرنست (جهد الطفلة) E_N عند وجود اختلاف جهد بين قطبين مغموسين فى محلول متجانس والذى عنده تختلف تركيزات المحاليل موضعيا ويتضح من جدول (6-2) أن صيغة معادلة جهد نرنست تكون حالة خاصة لجهود الإنتشار ويمكن بسهولة ضمها لصيغة الجهد الإلكتروكيميائى.

يكون لجهد نرنست أهمية خاصة فى تسجيلات الآبار حيث يشير فى حالته لجهد الطفلة. ويتضح من جدول (6-2) أن الجهد الالكتروكيميائى يعتمد على اختلاف التركيزات C_2, C_1 ودرجة الحرارة. ويحدث زيادة فى الجهد الإلكتروكيميائى عندما يكون الإختلاف فى التركيزات كبير وكذلك إرتفاع درجة الحرارة. لذلك فإن قياس الجهد الذاتى يكون مهما فى اكتشاف مصادر الحرارة.

أيضا فإن الجهود الالكتروكيميائية تشارك فى جذب الأنيونات على سطوح عروق الكوارتز والبيجماتيت وتعرف بجهود الاستجذاب (جهود صفر الطاقة Zeta). مثال ذلك يوضحه شكل (6-5) حيث أن الشاذة أعلى من 100+ ميللى فولت المقاسة عبر سد بجماتيت رأسى خلال النيس. إضافة لذلك، فإن جهد الإستجذاب يمكن حسابه للشاذات المرصودة عبر الطين حيث الجهود يولدها إزدواج الصلب-السائل.



شكل (6-5): بروفيل جهد ذاتى عبر سدود بيجماتيه فى نيس (سيمينوف Semenov 1980)

4.1.1.3.6 الجهود المعدنية Mineral Potentials:

الجهود المعدنية من اكثر استخدامات الجهود الذاتية فى إكتشافات المعادن كالتى تصاحب كتل أجسام خامات الكبريتدات. ويمكن ملاحظة شاذات كبيرة سالبة خاصة عبر البيريت، كالكوبيريت وموصلات كهربية جيدة. أيضا يلاحظ الجهود المعدنية عبر خامات سفاليرايت برغم موصلات ضعيفة.

5.1.1.3.6 تصحيحات لنتائج الجهد الذاتى Corrections to SP Data:

عادة ما تدل قياسات الجهد الذاتى عبر مساحات كبيرة (عدة كيلومترات مربعة) على الإتجاه الإقليمى بسبب تيارات الكهربية الأرضية (Telluric) والتى تبلغ أكثر من 100 ميللى فولت/كيلومتر. وربما تفرض الجهود المعدنية جدا على هذا التدرج الإقليمى. لذلك عند تفسير شاذة بسبب التمعدن، تعزل هذه الشاذة بنفس الطريقة المستخدمة فى طريقة الجاذبية للحصول على شواذ المتبقيات. ويجب تطبيق التصحيح الإقليمى قبل أى ضبط للتضاريس. أما بالنسبة للمسح المحلى الصغير عادة ما تكون هذه التصحيحات هامة.

تبعا لبهاتاشروا وروى Bhattacharya and Roy 1981 وبهاتا شاروا Bhattachorya 1986، إذا كان ميل سطح المسح أكبر من 20°، فإن أقل جهد ذاتى ينحرف عن المسبب له، وتبعا لذلك فإن الحفر ربما يخطئ جسم الخام تماما. فى أى محاولات لتصحيح النتائج للتأثيرات الإقليمية أو التضاريس، فإنه يجب عزل شاذة الجهد الذاتى لجسم مفرد مستقطب.

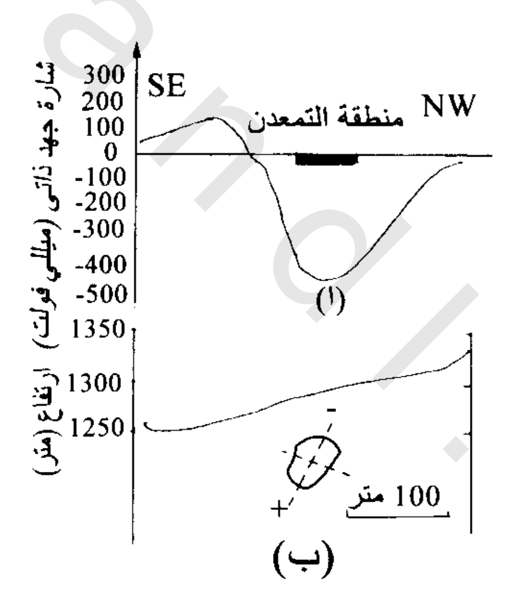
إذا كانت الشاذة المرصودة بسبب تجمعات لعدد من الشاذات من مصادر جيولوجية مختلفة (عندئذ يكون لها أشكال واستقطابات مختلفة)، فإن التصحيح لايمكن اجراؤه وكذلك تحديد القمم لأجسام الخامات لذلك يجب أخذه بالتقريب، وتستخدم عدة طرق جيوفيزيائية لمحاولة تحديد التركيب الجيولوجى الأكثر وضوحا.

ربما يكون من الضرورى أيضا عمل مسح لتأثيرات جهود كهربية المياه المتسببة بواسطة النباتات. حيث ربما تسبب هذه الجهود مجالات سالبة لعدة مئات من الميللى فولت مقارنة بالجهد المعدنى الناتج من أجسام خامات الكبريتدات. لذلك، فإن أساس الرصد الحقلى هو تصفية الموقع.

6.1.1.3.6 تفسير شاذات الجهد الذاتى Interpretation fo Self-Potential Nomalies:

غالبا ما تفسر شاذات الجهد الذاتى كيفيا بواسطة شكل البروفيل، السعة، القطبية (موجب أوسالب) وشكل الكنتور كما فى شكل (6-3,1). يوضح شكل (6-6) قمة أى جسم خام يقع مباشرة تحت مكان أقل جهد، حيث أن محور الإستقطاب يميل عن الرأس، لذلك فإن شكل البروفيل يصبح غير متماثل بميل شديد وتقع نهايتى الموجب على جانب الميل السفلى.

يوضح شكل (6-7) تعقيدات قائمة عندما يعطى اثنين أو أكثر من الظواهر الجيولوجية تراكب شاذات جهود ذاتية. تتميز الشاذة عبر جرافيت فيلليتى* بالكبر السالب (-740 ميللى فولت) بسبب جهود كهربية المعادن الكيميائية، بينما تنتج الشاذة الثانية (-650 ميلليفولت بسبب جهود الكهربية الحركية المصاحبة لانسياب الماء خلال نفادية الكونجلوميرتات المفتتة.



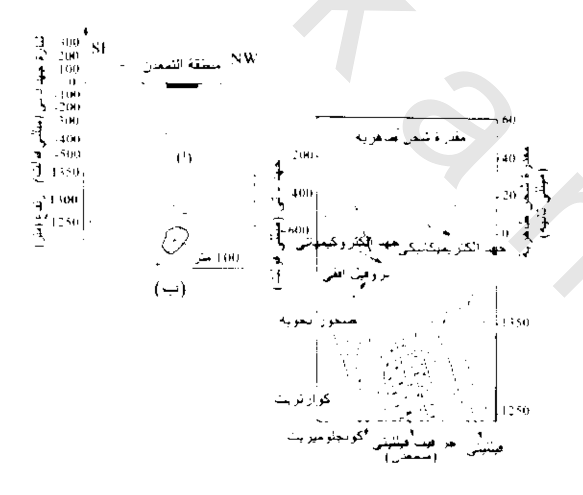
شكل (6-6): شاذة جهد ذاتى فى أرجانى، تركيا Ergani, Turkey، لجسم خام متداخل يرى بشكل تخطيطى فى (ب). يلاحظ أن محور الإستقطاب يميل صعودا (ينجل 1950 Yungul)

عندما توجد نفس حجوم الإجسام ولكن باختلاف الميل فيمكن استخدام الشاذة الناتجة للتفريق بينهم. يوضح هذا شكل (6-8) حيث يعبر عن جسمى جرافيت فى نيس لنموذجين مختلفين. يوضح شكل (6-8أ) اتجاهى ميل كل يبعد عن الآخر لجرافيت فى تركيب طيه مقعرة، فى هذه الحالة فإن المراكز السالبة المصاحبة لكل جسم مستقطب تكون منفصلة تماما، منتجة شاذة لقيمتى سالبتى منخفضتين. أما شكل (6-8ب) والتى توضح أن

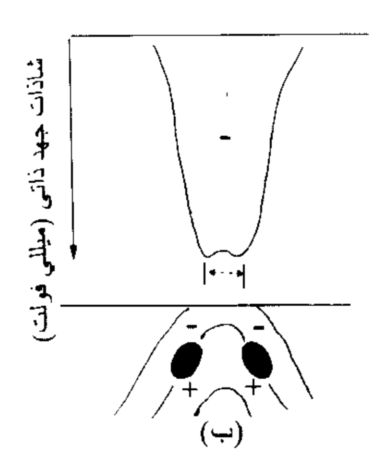
* ميللبت: صخر بركانى متحول متجعد السطح.

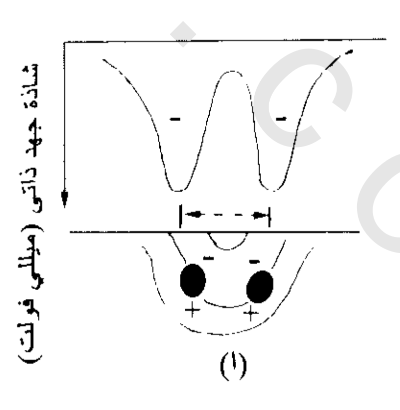
اتجاهى ميل الجرافيت كل فى مقابل الآخر فى تركيب طيه محدبه، فى هذه الحالة فإن المركزين السالبين يكونا متقاربين كلا للآخر وربما يتحدا أحيانا ليكونا قيمة واحدة منخفضة سالبة، فى هذه الحالة يكون الفصل بين القيمتين المنخفضتين مساويا لفصل قمم أجسام الجرافيت.

المستوى التالى للتفسير هو تقريب جسم الخام إلى واحد من الأشكال الهندسية المعروفة، عادة ما تكون كرة أو قضيب مائل، مع فرض إتجاه الإستقطاب. يكون التقريب المقدم هو حساب الجهد الكهربى التابع للنموذج ومقارنة الشاذة النموذجية مع المرصودة. وقد اشترك عدة باحثين لوضع القاعدة النظرية لتفسير شاذات الجهد الذاتى الكمى عبر كرة مستقطبة. وكذلك عبر لوح مائل. عموما، طورت أشكال نماذج أخرى وطرق حسابية منقحة. وعندئذ يضبط النموذجين إلى أن يتوافق البروفيلين خلال حدود افتراضية إحصائية. بينما تعمل هذه الطريقة بالنسبة لنتائج ملزمة جدا، عندما لا تتفق الظواهر الجيولوجية الحقيقية المسببة لشاذات الجهد الذاتى لإعطاء أشكال هندسية، تصبح المشكلة بذلك أكثر تعقيدا رياضيا وعدديا للحساب المطلوب. فى هذه الحالة يجب استخدام طرق جيوفيزيقية أخرى مثل الإستقطاب الحثى أو الجاذبية الدقيقة، مثلا، لتحديد الأجسام المؤثرة.



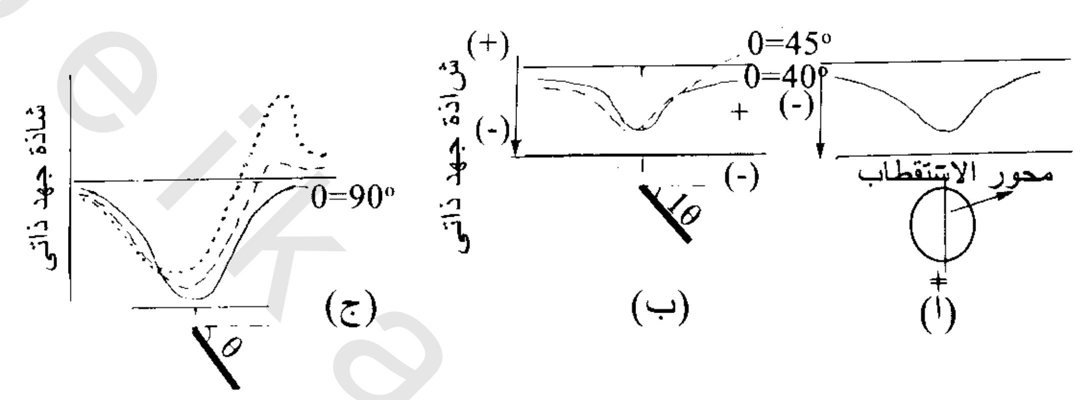
شكل (6-7): إثنين من الجهد الذاتى لحالات مختلفة : أحدهما نتج بواسطة عمليات الكتروكيميائية المصاحبة لتمعدن الجرافيت الفلليتى والآخر نشأ بواسطة عملية الكتروميكانيكية بسبب إنسياب الماء فى كونجلوميريت (نايك Nayak 1981)





شكل (6-8): شاذات جهد ذاتى ترجع لجسمين من الجرانيت بمحورى استقطاب يميل كل منهما بعيدا عن الآخر (طيه مقعرة) كما فى (أ) وفى (ب) يميل كل منهما فى إتجاه الآخر (طيه محدبة)) (ميسر Meiser 1962)

فى المقابل يكون التقريب ممارسة (حساب يدوى) للشاذة المرصودة لإنتاج النموذج. ربما تستخدم هذه الطريقة لتقييم حجم لظاهرة جيولوجية سابقة لأخرى، أكثر تفصيلا، باستقصاءات جيولوجية وجيوفيزيائية. يكون التقريب لفرض أن الظاهرة الجيولوجية تتفق لإعطاء أشكال هندسية شكل (6-9) والتى تكون أعماقها لمركز الجسم، وربما يقدر هذا العمق باستخدام طريقة نصف العرض. لسوء الحظ، هذه الطريقة غير ملائمة فى دقتها، حيث أن أهم تحديد لهذا التقريب يعتمد على عرض الشاذة التى ربما تكون أكثر دلالة للاتساع الطبيعى أكثر من عمق الجسم، وربما يصل الخطأ فى تقدير العمق (±100% يرى شكل 6-10) أمثلة من أجسام جرافيت حقيقية وشاذات الجهد الذاتى المقابل لها.



شكل (6-9): شاذات جهد ذاتى. أ) كره، ب) لوح مائل، ج) قضيب مائل (بارانيس Parasnis 1986، تليفورج وآخرين Telford et al 1990)

يوضح شكل (6-10أ) أمثلة من أجسام جرافيت حقيقية وشاذات الجهد الذاتى المقابل لها. يوضح شكل (6-10ب) الشاذة المرصودة المغطية لشواذ ترجع إلى مركبات جيولوجية مفردة.

7.1.1.3.6 تطبيقات وحالات سيرية Application and Case Histories:

1.7.1.1.3.6 أجسام الخامات Ore Bodies:

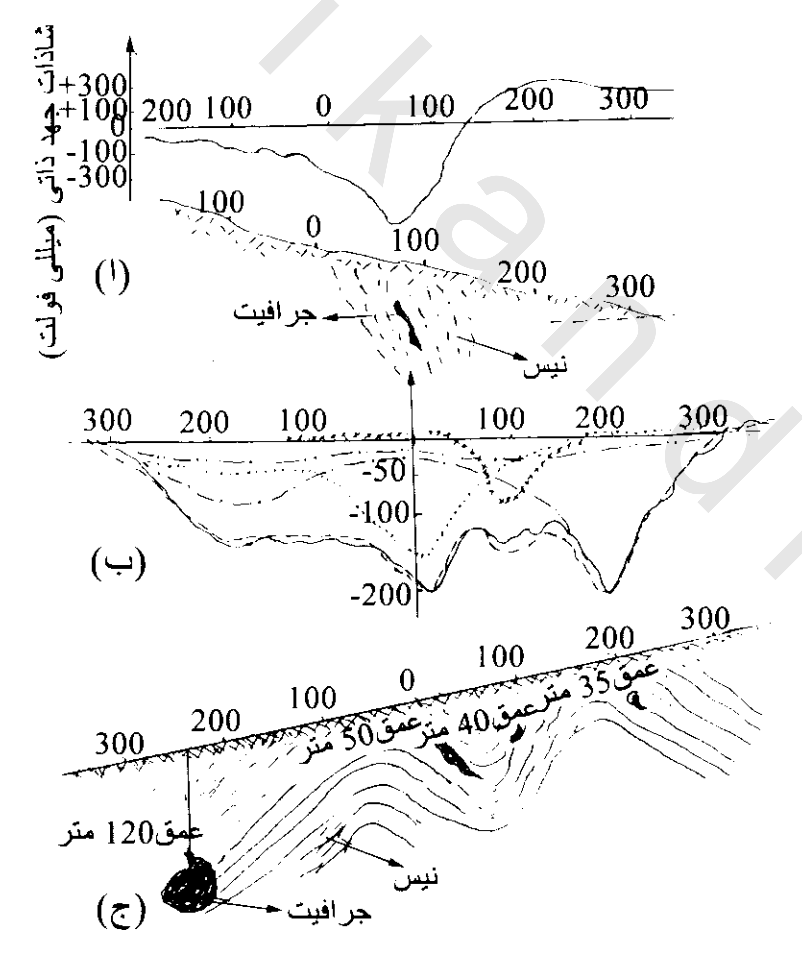
(i) خام كمهيدن بشمال السويد Kimheden Orwe Body, Norther Sweden:

يوجد خام كمهيدن (أساسا بيريت Pyrite) فى ألواح منحدرة مائلة على طول ركام جليدى كوانزيت (يغطى سرسبت (ميكاالبوتاس)). لايزيد عمق قطع قمم الخام عن حوالى 10 متر. ويوضح كنتور الجهد الذاتى شكل (6-11) عدة ظواهر خطية واضحة والتى تقارن مع أماكن معروفة لأجسام الخام مع استثناء واحد هو عند أقصى قرب لجسم الخام (X) تكون له خاصية إرتفاع المقاومة التى ربما تفسر غياب أى شاذة.

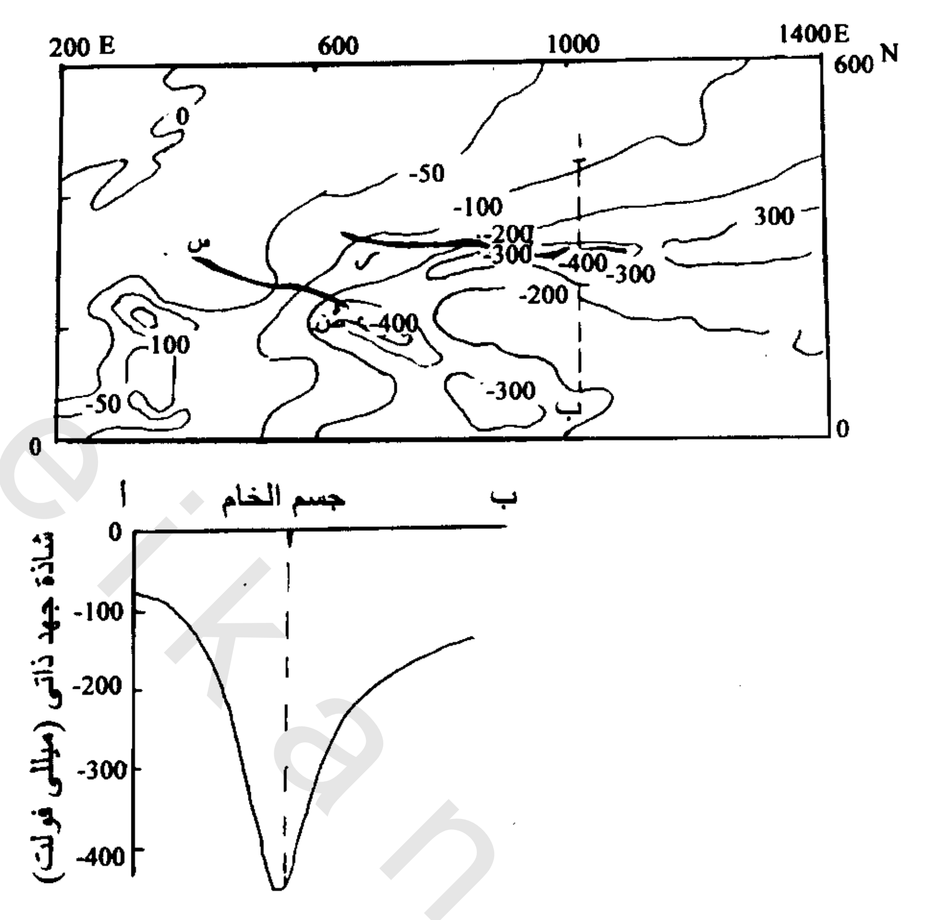
(ii) خام النحاس عند شالكدكى، شمال اليونان :Copper Ore at Chalkidiki, North Greece

تتكون هذه المنطقة من نيس وشيست والتى قطعت وأزيحت بقوة ملئت بواسطة تمعدن جرانيتى-جرانودايوريت وتركيبات فوق قاعدة شكل (6-12) يصاحب البيريت والجالينا وسفاليريت تداخلات حمضية، أما المجنتيت والكروميت يكون مع تداخلات قاعدية. تنتج معادن النحاس والبريت من نشاط

بركانى فى عصر الثلاثى حيث تكون مصاحبة مع إنسياب حمم تراكيب، أنديزيت وبرونورينيك جرانيود يوريت، وتكون مركزة خلال شبكة مكثفة من الشقوق والفوالق. يوجد ثلاثة مناطق ملاحظة لتمعدن النحاس، تتكون المنطقة الضحلة الغربية من أوكسيد صافى (حوالى 1% نحاس) أسفلها يوجد المنطقة الثانية الأغنى وسمكها 2-3 متر والتى يكون تركيز النحاس عالى حوالى 20% (ملاكيت، أزوريت، كوبريت...إلخ)، والمنطقة السفلى، والتى تمثل التمعدن الأولى للكالكوبيريت، بيريت، بورنيت ومجنتيت متزامن التكوين، يبلغ عمق هذه المنطقة من 20-30 متر وتمتد لأسفل على الأقل 300 متر أسفل السطح يعطى الماجنتيت الموجود خلال الصخور البركانية شاذة مغناطيسية مميزة، وتوجد أقصاها خلال حواف قبة تراكيت (صخور نارية دقيقة الحبيبات). توجد شاذات الجهد الذاتى المنخفضة نوعيا عبر أجسام خامات النحاس. وحيث أن كبريتات النحاس تميز بإنتاج قابلية مغناطيسية منخفضة، لذلك يوجد تبعا لذلك قرنه (رأس مؤنف (مدبب) فى بروفيل المغناطيسية.



شكل (6-10): أ) شاذة جهد ذاتى عبر جسم جرانيتى مفرد فى نيس، ب) نموذج شاذة جهد ذاتى فردى لأربع أجسام جرافيتيه فى نيس، ج) البروفيل المرصود (ميسير (Meiser 1962



شكل (6-11): أ) خريطة جهد ذاتى لجسم خام بيريت كمهيدن (شمال السويد) بارازنس Parasnis 1966 (الكنتور بالميللى فولت).
ب) شاذة جهد ذاتى عبر البروفيل أب.

(iii) جسم خام كبريت عند سارير، تركيا :Sulphide Ore Body at Sariyer, Turkey

يمثل شكل (6-13) مثال نموذجى لشاذة جهد ذاتى عبر هذا الخام. ويجد الكالكوبيريت والبيريت فى تركيزات مختلفة خلال كتل رسوبية كبيرة فى داخل انديزيت وأسفل شيست ديفونى. وحيث أن المنطقة تتميز بتدرج سطحى شديد، لذلك إذا لم يصحح هذا التدرج فسيحدث إزاحة لانحدار منخفض الجهد الذاتى. يشمل جسم الخام أربع مناطق، واحدة منهم ممتدة إنحداريا مكونة كبريتور الحديد، والثلاثة المناطق الباقية يقل فيهم تركيز النحاس من 14% على جانب المنحدر إلى 1%-2% على جاب أعلى الميل.

2.7.1.1.3.6 جيولوجية المياه Hydrogeology:

تستخدم طريقة الجهد الذاتى لاكتشاف الخزانات الطبيعية ومواقع تسرب المياه لعمل الإنسان وأيضا لدراسة حركة المياه. مثال ذلك العمل الذى تم فى منطقة بوسط فرنسا، حيث أمكن تحديد مستجمع لكل ينبوع، وقد وجد أن محور الحوض يكون طبقة المياه الأساسية وعرفت المناطق الممكنة القابلة لنقد التلوث. أيضا وجد أن مستوى الماء هو مصدر إعطاء شاذات الجهد الذاتى، وشكلها يدل على شكل مستوى الماء (شكل 6-14).

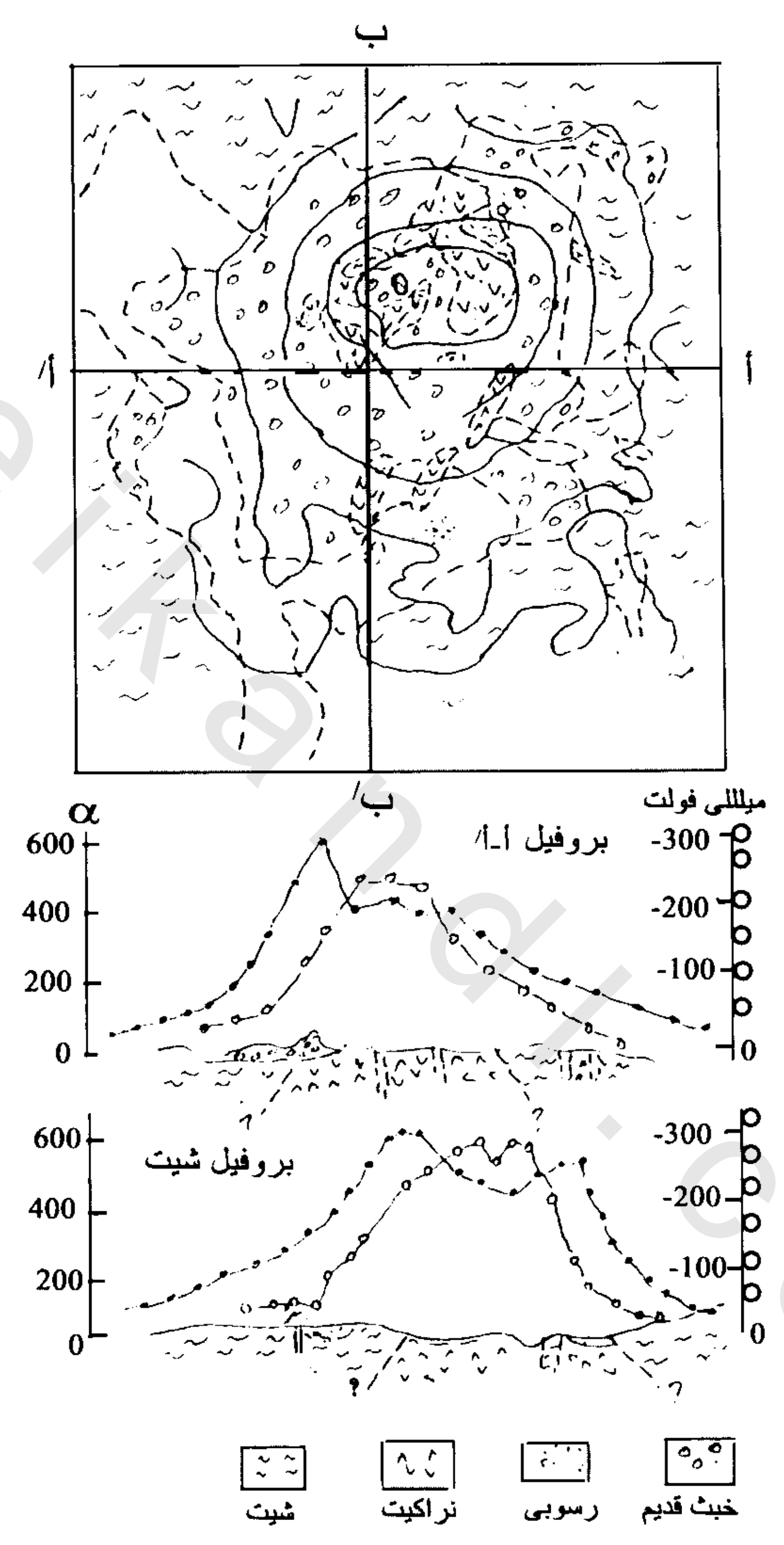
يوضح شكل (15-6) قطاع جيولوجيى لجزء من سلسلة بيوز Puys بوسط فرنسا مع الجهد الذاتى المقابل له. يلاحظ أن أكبر قيمة سالبة تتفق مع تضاريس عالية. وقد استطاع فورنير Fournier فى هذه المنطقة تقسيم شاذات الجهد الذاتى كمصطلحات دلالية هيدروجيولوجية كما فى جدول (3-6). وبقيت هذه الدلالات صالحة للإستخدام فى مناطق أخرى.

3.7.1.1.3.6 المدافن Landfills:

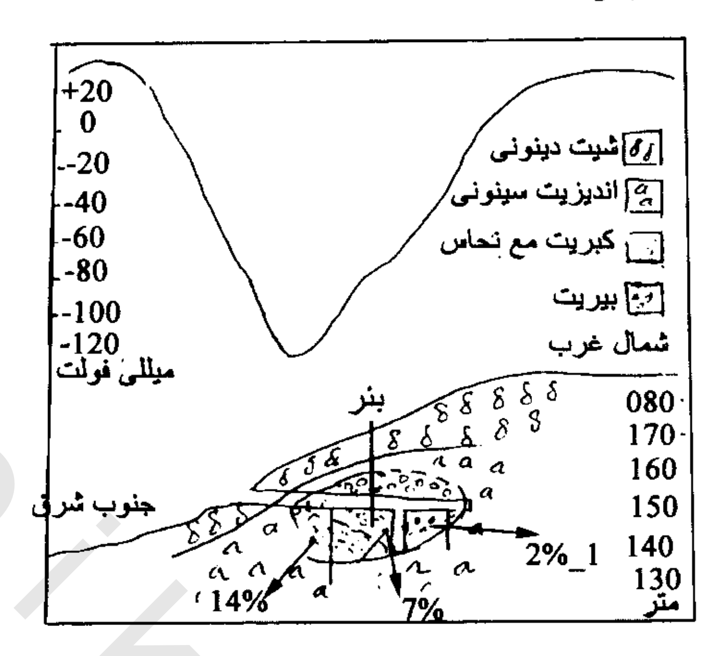
جوانب المدافن شديدة الإنحدار تحتوى على حجوم معينة لمحاليل غسيل عالية التوصيل والتى تتضح خلال الحواف والتى من المعروف أنها تولد شاذات جهد ذاتى معين. هذه الشاذات لها طيتين عند هذه الحواف شكل (16-6) يوضح هذا الشكل وجود شاذات صغيرة خلال المدفن بينما توجد شاذتان كبيرتان على حواف المدفن حيث يكون عدم الإتزان الأيونى ومعدل إنسياب محلول الغسل يكون أكثر تحقيقا.

جدول (3-6).

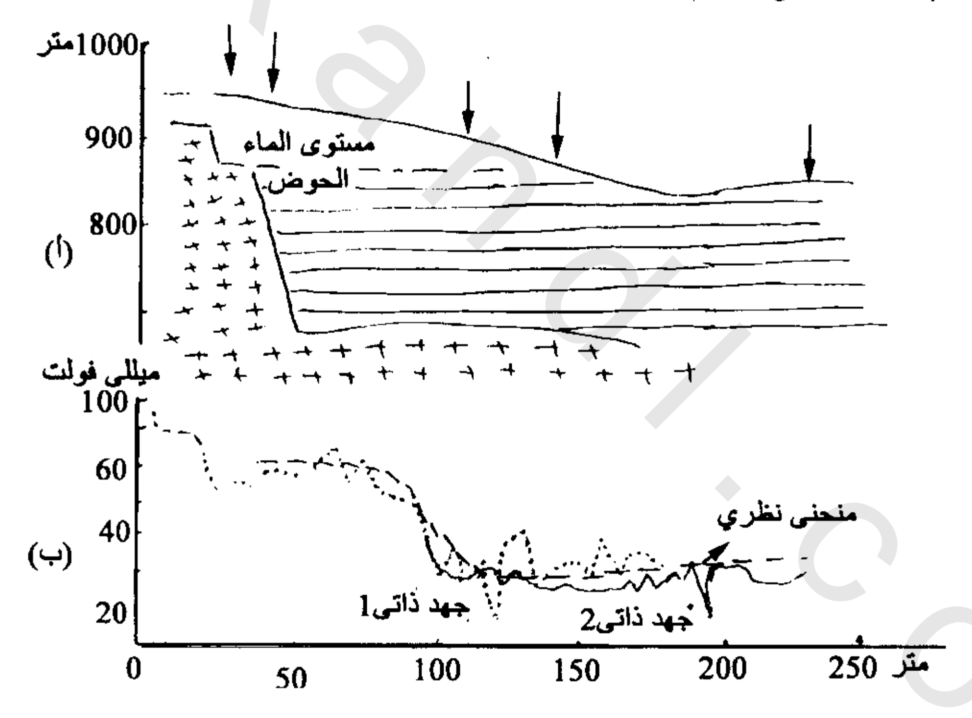
الهيئة	الموقع	الدلالة الهيدروجيولوجية
تدرج جهد ذاتى أفقى عالى	- على تضاريس مسطحة	- جانب محدد من مستودع ماء جوفى غير محصور
	- على جانب ذراع بركانى	- تصاعد مستوى الماء الجوفى فى مخروط بركانى
جهد ذاتى منخفض	- على تضاريس سطحية - على جانب بركانى أو على القمة	- محور وادى قديم - قمة مستوى الماء وخط حوض نهر جوفى
جهد ذاتى عالى	- فوق مستودع ماء جوفى غير محصور - بينمستودعين ماء جوفى غير محصور	- إنخفاض مستوى الماء بسبب صرف جيد - خط حوض نهر بسبب قمة صخور قاعدية غير منفذة



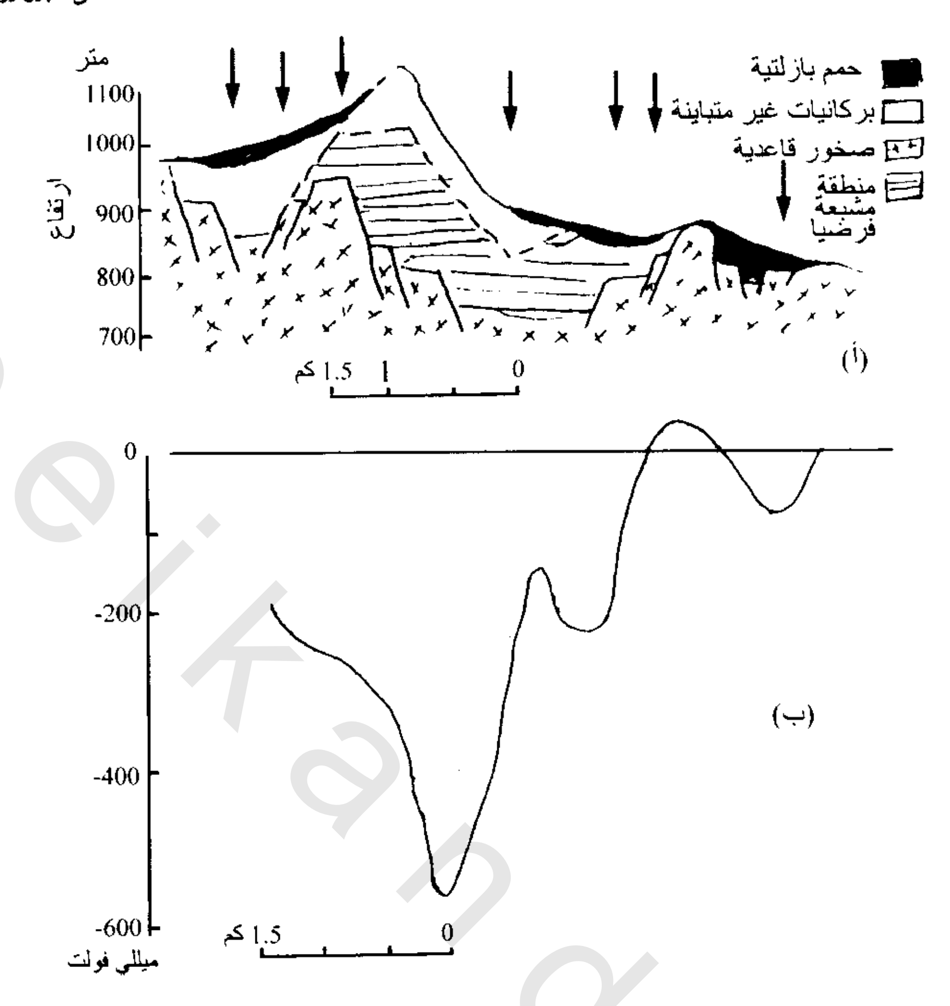
شكل (6-12): أ) خريطة جيولوجية وقيم جهد ذاتى (ميللى فولت) فى شالكدكى شمال اليونـان، ب) برفيلان يمثلان شاذات جهد ذاتى ومجال مغناطيسى كلى (nT)أ-أ` ب- بة (زاكوس Zachos 1963)



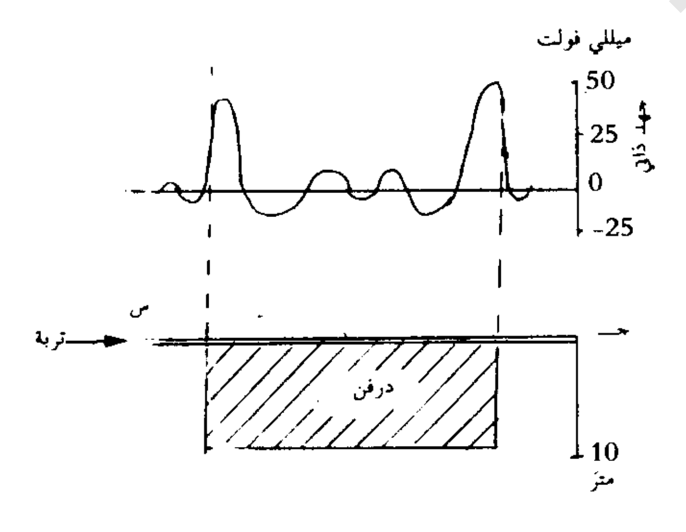
شكل (6-13): شاذة جهد ذاتى عبر خام بيريت عند سارير ، تركيا. يوجد مكان البئر عند طوبغرافية مصححة لأقل جهد ذاتى



شكل (6-14): أ) قطاع جيولوجى لجزء من محور حوض فى وسط فرنسا مشتق من الجس الكهربى الرأسى (الأسهم) ، ب) شاذات الجهد الذاتى المقابلة (فورنير Fornier 1989)



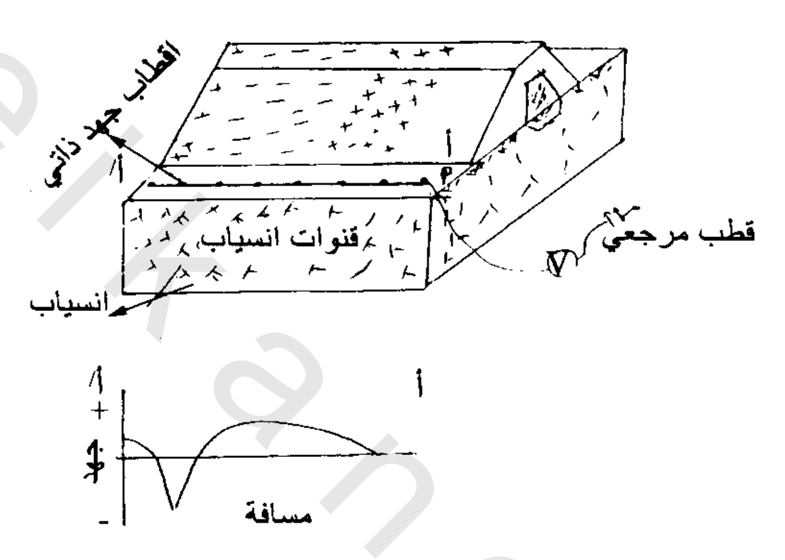
شكل (6-15): أ) قطاع جيولوجى عبر قبه بركانيه فى جزء شمال سلسلة بيوس Puys بوسط فرنسا مشتقه من جسات كهربيه رأسية (أسهم) ، ب) شاذات الجهد الذاتى المقابلة (فورنير Fournier 1989)



شكل (6-16): شاذة جهد ذاتى عبر مدفن مغلق توضح نموذج لكبر الشاذات مع جوانب المدفن بالمقارنة مع الملاحظة فى داخلة (كوليمان Coleman 1991

4.7.1.1.3.6 إكتشاف الترشيح خلال السدود Leak Detection Within Embankments:

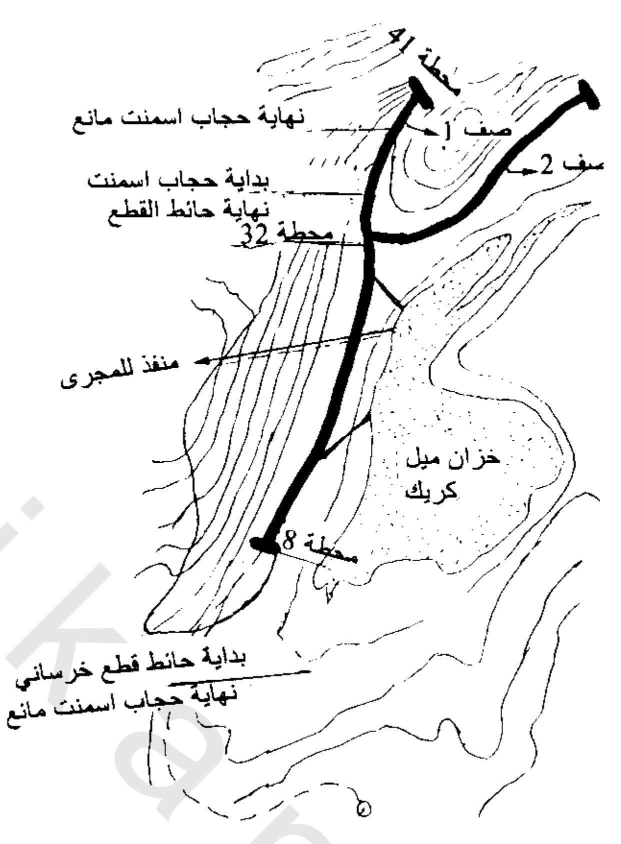
حيث أن المياه الأرضية تنساب خلال مثل هذه التركيبات بواسطة طرق قليلة المقاومة، لذلك ربما يولد جهد الترشيح كهربيه حركية بكمية كافية للاكتشاف. يوضح الشكل التخطيطى (6-17) أساس تولد شاذات الجهد الذاتى بواسطة الترشيح. تصاحب الشاذات السالبة أماكن تواجد الترشيح فى السد، أو فوق طرق التز حيث يكون الإنسياب عامة أفقى أو منحدر. بالعكس فإن الشاذات الموجبة توجد حيث يكون الإنسياب عامة صعودا حيث يأخذ سطح التز مكانه. تبعا لذلك، فإن وجود كلا من الشاذة السالبة أو الموجبة يكون هاما فيزيائيا.



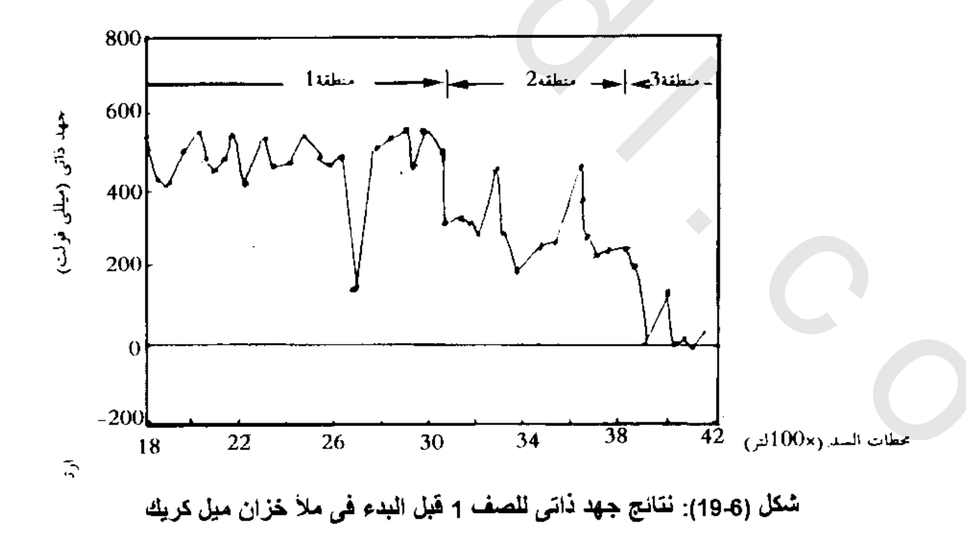
شكل (6-17): رسم تخطيطى لتصور شاذات جهد ذاتى متولدة بواسطة ظواهر مصاحبة للترشيح خلال أرضية سد (بوتلرولوبس (Butler & Llopis 1990

يوضح شكل (6-18) مثال لمسح جهد ذاتى لإمكان اختبار الترشيح عند سد وخزان ميل كريك MillCreek بواشنطن Washington بالولايات المتحدة الأمريكية منذ اختبار الملأ فى 1941، ولم تنجح محاولات تغير أو وقف النزر عندما لوحظ فقد الماء المخزون. لذلك أقيمت حوائط قطع متحجر بجوانب الستائر (أسمنت مانع). بنيت هذه الحوائط على قمة كتلة بازلت والتى تقع تحت خط متغير جانبيا من الكونجلوميرايت. وبرغم ذلك فمنذ إنشاء مثل هذه التركيبات فإن الخزان لم يملأ ولكن مازال النزز واضح.

وقد أجرى فحص جيوفيزيقى لاكتشاف شاذات النزز قبل واثناء وبعد اختبارات ملئ الخزان. وقد وضعت أجهزة قياس الجهد الذاتى المكونة من 85 قضيب فلزى على بعد 15 متر بين كل قضيبين لمدة شهرين قبل أخذ قراءة المجموعة الأولى للجهد الذاتى وقبل أربعة أشهر لأول اختبار للملأ، وقد وضع القطب المرجعى أعلى المجرى. ارتفع مستوى الخزان بمقدار 10 متر أثناء الإختبار. يوضح شكل (6-19) شاذات الجهد الذاتى عبر الصف 1 شكل (6-18). من شكل (6-19) وخط عدة ظواهر:



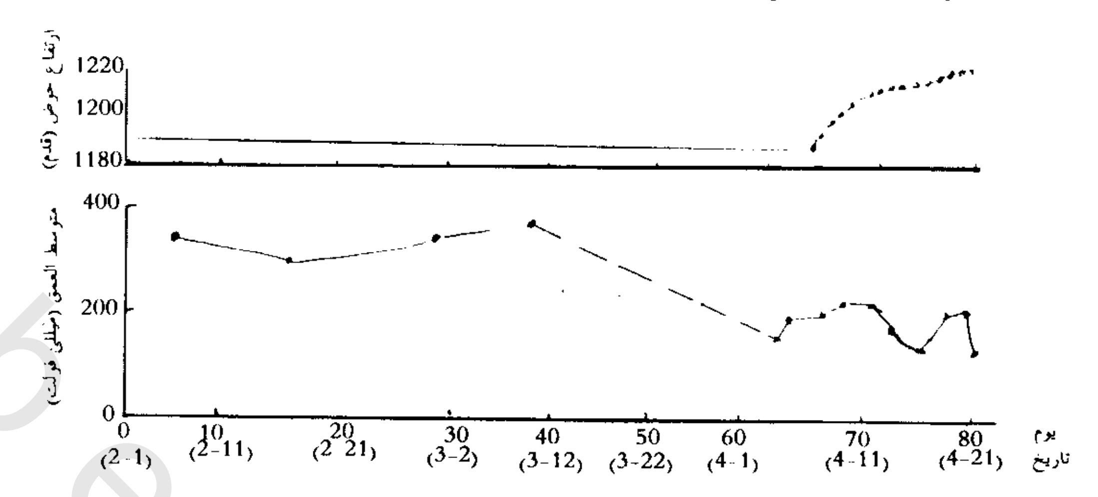
شكل (6-18): تخطيط لسد ميل كريك والخزان، وشنطن، الولايات المتحدة الأمريكية توضح أماكن لخطوط مسح الجهد الذاتى الكهربى صف 1، وصف 2، أحجبة أسمنتية مانعة وقطع حائط خرسانى (بوتلرولوبس Butler & Lopis 1990)



شكل (6-19): نتائج جهد ذاتى للصف 1 قبل البدء فى ملأ خزان ميل كريك

1- ثلاث مناطق منفصلة على طول الصف 1 ولوحظت بواسطة قواعد مستويات مختلفة.

2- اتفاق الحدود بين المناطق تقريبا مع تلامس دعامة السد اليمينية ونهاية القطع المتحجر بالتتابع. ويسبب التغير فى نوع المواد الشاذة المصاحبة للحدود بين المناطق. ويكون الحد بين منطقتى 2، 3 بسبب التغير الجانبى ونظام إنسياب المياه الجوفيه كنتيجة لوجود الحائط القاطع والقطع المتحجر.



شكل (6-20): مقارنة مستوى ماء الخزان مع متوسط جهد ذاتى لصف كدالة زمن (نظر شكل (6-18) إرتفاع مستوى الماء بدأ فى يوم 5 أبريل

لاختبار مسئولية الجهد الذاتى لارتفاع مستوى الخزان، فإن قيم متوسط الصفوف مسئولة مباشرة للزيادة فى مستوى الماء. وقد قيست قيم الجهد الذاتى فى فترة سابقة مباشرة لاختبار الملأ، لوحظ أن إتجاه شاذة الجهد الذاتى مع الزمن تكون سالبة.

2.3.6 التيارات الأرضية Telluric Currents:

تنشأ هذه التيارات أساسا من عاملين:

العامل الأول. من المعروف أن الجزيئات المأينة بواسطة الإشعاع الشمسى تنتج تيارات كهربية فى لأينوسفير (الغلاف الجوى المتأين). أيضا ترتبط هذه التيارات بالتغيرات اليومية فى مجال المغناطيسية الأرضية بنفس الطريقة، فإن التيار الكهربى المتردد مع تغير تردد لواحد هرتز أو أصغر يكون مستحث لانسياب أفقى فى الجزء الأعلى للقشرة الأرضية. وهكذا يتكون التيار الأرضى.

العامل الثانى. من المعروف أن المجال المغناطيسى له تغير يومى، برغم ذلك ، فإن نظام التيارات الأرضية تظهر ثابتة بالمقابلة مع الشمس، ولكن تزاح هذه التيارات على طول سطح الأرض طالما تدور الأرض. تتكون هذه التيارات من 8 حلقات تدور بتناوب فى إتجاه حركة الساعة وعكس إتجاه حركة الساعة. الحلقات القريبة للشمس تكون قوية فى شدة التيار، بينما الموجودة على الجانب المظلم للأرض تكون ضعيفة.

يعتقد عموما أن تيارات الكهربية الأرضية تنتجت بالحث مباشرة أسفل سطح الأرض بواسطة التيارات الأيونوسفيرية والتى ترتبط بالتغيرات اليومية فى مجال المغناطيسية الأرضية. ولايمكن قياس هذه التيارات مباشرة ولكن يقاس مجالات جهدها الأفقى التى تحدث عند السطح. وتختلف التيارات الأرضية تبعا لجغرافية المكان وفصول السنة وكذلك يوميا. تبدو هذه التيارات ثابتة بالنسبة للشمس ومزاحة على سطح الأرض أثناء دورانها.

وقد وجد أن الأحواض الرسوبية أقل مقاومة للتيارات الأرضية أكثر من مساحات الجرانيت الضحلة. وربما تستخدم طريقة التيارات الأرضية على مقياس كبير للدلالة لقياس كبير لعمق الظواهر الجيولوجية فى مواقع جيولوجية بسيطة.

يوجد عدد من الطرق مؤسسة على استعمال التيارات الكهربية الأرضية وتطبيقاتها على الإستكشافات البترولية وتعتبر طريقة التيارات الكهربائية الأرضية أقدمها. أما طريقة الكهرومغناطيسية فتعتبر أكثر تقدما فى نشأتها والتى فيها ترتبط التيارات الأرضية الطبيعية مع تذبذباتها المغناطيسية المصاحبة، وأصبحت الآن أوسع إستخداما.

فى طبقة الصخور الأفقية المتساوية السمك، تعتبر كثافة التيار الكهربى الأرضى (μ_T) ثابتة لأن مصدر التيار يكون بعيدا جدا عن المساحة التى تتم فيها القياسات ، ويكون فرق الجهد بين قطبى القياس

$$U = \mu_T R L \qquad (6\text{-}1)$$

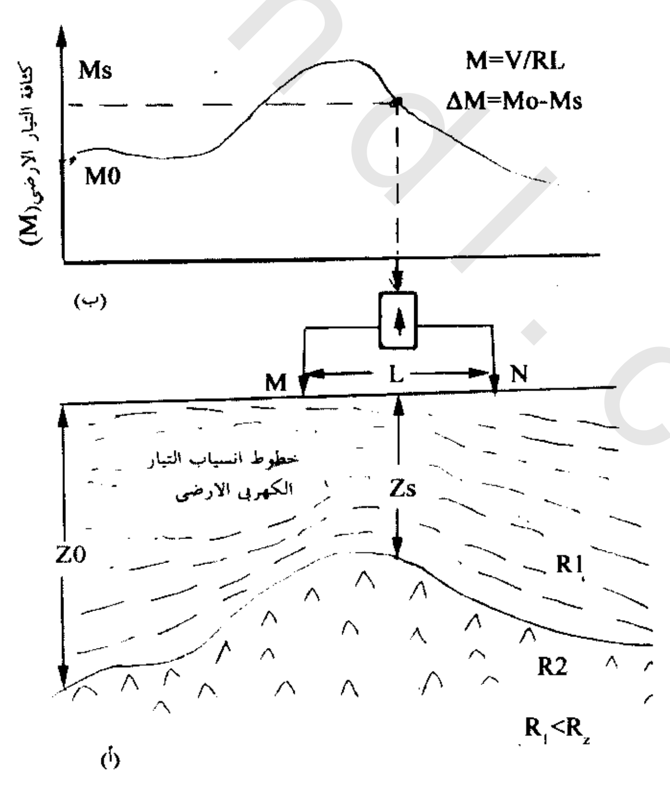
حيث L المسافة بين القطبين، R المقاومة الكهربية. إذا تغير سمك الطبقة، فإن كثافة التيار ستتغير أيضا وكذلك الجهدين القطبين شكل (6-21). يعتمد العمق الذى يخترقه التيار الأرضى فى الأرض على التردد F والمقاومة

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{R}/F \qquad (6\text{-}2)$$

حيث h بالكيلومتر، R بالأوم/متر، f بالهرتز.

1.2.3.6 مسح التيار الكهربى الأرضى Telluric Current Surveying:

الإستطلاع المسحى لتغير الأحواض الرسوبية يمكن معرفته بواسطة اختلاف الجهد المصاحب للتيارات الأرضية. هذه الطريقة استخدمت فى المراحل الأساسية للإستكشافات البترولية حيث يوجد معلومات قليلة عن سمك وتتابع الصخور الرسوبية.



شكل (6-21): أ) خطوط إنسياب تيار كهربى أرضى فى طبقة قليلة المقاومة تعلو منطقة عالية المقاومة ، ب) اختلاف الجهد الناتج بواسطة هذه التيارات. ترى الخطوط كيف أن كثافة التيار تزيد بسبب أن الطبقة أصبحت أرفع ، حيث يلاحظ اختلاف الجهود العالية

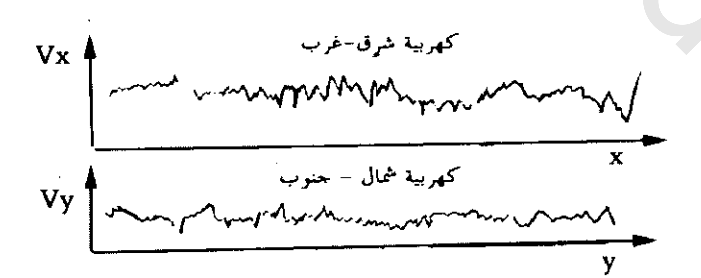
الفكرة الأساسية لمسح التيار الكهربى الأرضى تكون قياس الإختلاف فى الجهد عند محطة أساسية (حيث السمك Z_o والمقاومة R لحوض الترسيب تكون معروفة) وعند محطات أخرى تابعة. عندئذ، وبواسطة فرض نفس قيمة R للمساحة الكلية الممسوحة، يمكن حساب كثافة التيار لكل محطة بواسطة المعادلة السابقة رقم (6-1) وشكل (6-21). ويكون التغير فى السمك ΔZ تقريبا متناسب مع التغير فى كثافة التيار $\Delta\mu$ بين المحطة الأساسية والتابعة. عندئذ يمكنحساب الأسماك Z_s للمحطات المتتابعة.

$$\therefore Z_s = Z_o + \Delta Z = Z_o + \frac{Z_o}{\mu_o}\Delta\mu \qquad (6\text{-}3)$$

يختلف إتجاه التيار الأرضى من مكان لآخر، ويكون تردده غير منتظم، ولحساب إختلافات الإتجاه، يجب قياسات مركبات الجهد مع أقطاب موجهة فى اتجاهين عمودين، عادة شمال – جنوب، شرق-غرب لتغير التردد.لذلك يجب توصيل مخارج الفولتيميتر إلى مجموعتين متعامدتين من الأقطاب، ويجب التسجيل فى نفس الوقت عند فترات معينة من الزمن شكل (6-22). مركبات الجهد الكهربى V_X، V_Y المقاسة عند نفس الزمن تكون عندئذ مشتركة للفرق فى الجهد V والذى يمكن استخدامه لتحديد كثافة التيار دقة الأعماق المعينة من المعادلة (6-2)

$$V = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2} \qquad (6\text{-}4)$$

تكون محددة بواسطة تغيرات ممكنة فى المقاومة من مكان لمكان. وقد يلاحظ سلسلة أخطاء ناتجة من وجود تغيرات تركيبية وخواص صخرية فى أماكن مختلفة. من المهم أن يكون اختراق التيار كافيا "للوصول كلية" خلال تتابع الصخور الممسوحة، سواء كان الإختراق كافيا والذى يعين من المعادلة (6-1) والترددات الموجودة من تسجيلات الجهد كما فى شكل (6-22). ويوضح شكل (6-23) المنحنى اليومى لأربع محطات على خطوط عرض مختلفة. وغالبا ما تسرى هذه التيارات على سطح الأرض فى رقائق كبيرة متطابقة مع الطبقات الموصلة التى تغطى الجزء الخارجى من القشرة الأرضية.

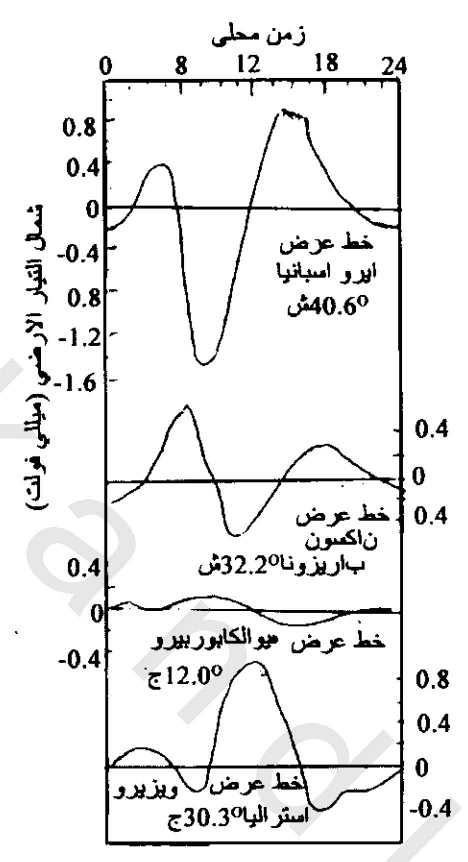


شكل (6-22): أمثلة من لوحات حصل عليها أثناء مسح تيار كهربى أرضى. توضح التغير مع زمن الجهد المقاس بين أزواج قطبية مصفوفة فى إتجاه شمال وشرق (فوزوف وآخرين (K.R. Vozoff et al 1964

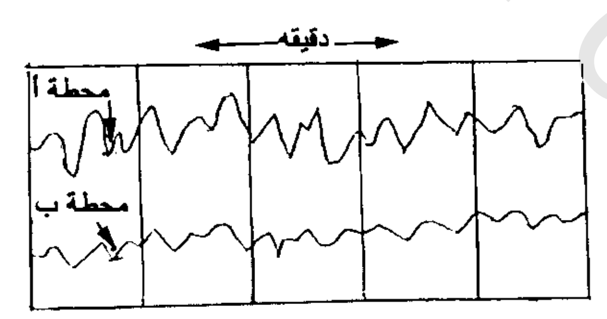
ويعتمد توزيع كثافة التيار خلال هذه الرقائق على المقاومة النوعية للتكوينات الحاملة للتيارات. فمثلا إذا كان هناك قبه ملحية منخفضة التوصيل وبها تكوينات مرتفعة التوصيل، ففى هذه الحالة تتجه خطوط سريان التيار لتخطى الملح وتظهر تشوهات فى مجالات الجهد على السطح مقترنة بهذه التيارات. عندما تقاس هذه التشوهات بواسطة أزواج قطبا كهربى بطريقة مناسبة وتفسر بعد ذلك بطريقة ملائمة، فيمكن بذلك تحديد مكان القبة الملحية.

غالبا ما تكون التيارات متذبذبة وذات دورات زمنية من بضع ثوان إلى بضع دقائق، ويلاحظ أن التذبذبات تكون متجانسة فى الشكل الموجى فوق مناطق واسعة (برغم أن ذلك لايكون فى السعة والأتجاه). ويوضح شكل (6-24) تسجيل نموذجى لذلك حيث أن الرصد تم عند نقط تتباعد بمسافة عدة أميال. من هذه التسجيلات يمكن

رسم خريطة لتغيرات فى التيارات الأرضية من مكان لآخر ومضاهاة التذبذبات الفردية بمقارنة سعة التذبذبات المتزامنة عند موضعين. عادة ما تقارن السعات عند عدد من الترددات المختلفة يصل فى بعض الأحيان إلى إثنى عشرة. من الممكن فصل الترددات بالمرشحات التناظرية فى أجهزة التسجيل أو بالمعالجة اللاحقة للمعطيات الحقلية.



شكل (6-23): التغير اليومى فى مجالات جهد التيار الأرضى فى إتجاه شمال-جنوب عند أربع خطوط عرض (رونى 1939 W.J. Rooney)



شكل (6-24): تسجيلات الجهد الأرضى التى تمت متزامنة عند محطتين على بعد 10 أميال

تطبيقا لذلك قامماينجوى وجريبين Maingwy & Grepin 1953 بوصف عدد من مساحات التيار الأرضى الكهربى المستخدمة للاستكشاف البترولى لحوض اليسماريو حولى Ales Maruejols فى الجنوب الشرقى لفرنسا، حيث وجدوا أن المناطق الهامة تتكون من طبقات ذات مقاومة نوعية عالية مثل الحجر الجيرى الكثيف

المغطى بطبقات موصلة. فى هذه المنطقة أعطت المساحات السيزمية صورة مختلفة تماما عن تلك المعينة بالتيارات الأرضية، ولكن الحفر اللاحق الذى أدى لإكتشاف البترول أيد الصورة المعينة بالتيار الكهربى الأرضى.

2.2.3.6 مسح التيار الأرضى المغناطيسى Magnetotelluric Surveying:

تبعا لأساس الحث الكهرومغناطيسى electromagnetic induction فإن التيار الكهربى المتردد يصاحب المجال المغناطيسى المتردد. لذلك فإن قياس شدة مركبات هذا المجال فى نفس الإتجاهات كمركبات للجهد يعطى معنى آخر لتحديد الأسماك والمقاومة الظاهرية لتتابع طبقات الصخور يشمل مسح التيار الأرضى المغناطيسى هذه القياسات.

يمكن تقدير المقاومة الظاهرية فى منطقة ذات سمك Z من المعادلة الآتية:

$$R_a = \frac{0.2}{f}\left(\frac{H_X}{H_Y}\right)^2 \qquad (6\text{-}5)$$

حيث f تردد التيار الكهربى الأرضى

H_Y شدة المجال المغناطيسى المصاحب فى إتجاه عمودى لشدة مركبة المجال الكهربى

E_X ويمكن تحديد شدة المجال كمتغير جهدى V عبر زيادة وحدات للمسافة X

$$E = V/X \qquad (6\text{-}6)$$

وتكون سمك المنطقة علاقة مع التردد والمقاومة الظاهرية بواسطة التقريب

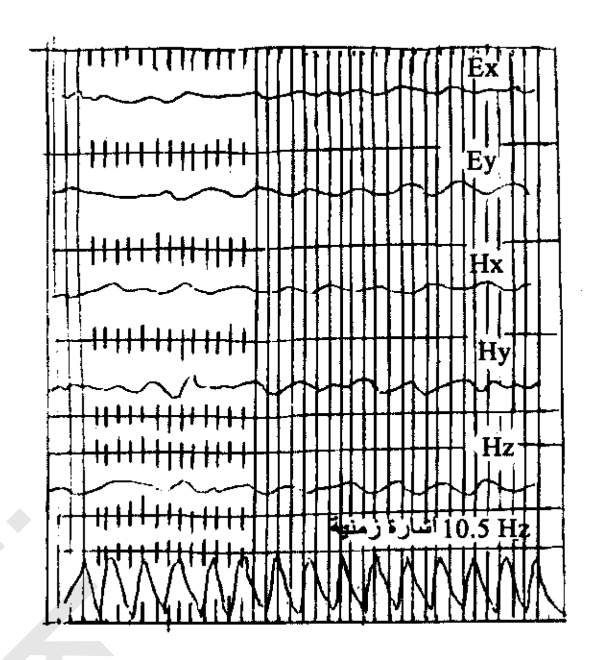
$$Z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{5R_a/f} \qquad (6\text{-}7)$$

حيث تكون Z بالكيلومترات عندما R_a بالأوم/متر، f بالهرتز.

ويوضح شكل (6-25) مجموعة من تسجيلات حصل عليها من قياسات مسح تيارات مغناطيسية أرضية. الصعوبة فى قياس هذه التيارات هى أنها ضعف المجال المغناطيسى الذى له شاذات لأجزاء عشرية قليلة من الميللجامات. ولذلك هناك أجهزة خاصة لهذا الغرض.

نوع المعلومات التى يمكن الحصول عليها من مسح التيارات المغناطيسية الأرضية موضحة فى شكل (6-26)، وبرغم أن هذه الطريقة غير ملائمة لكشف الطبقات الرفيعة، فإنها تدل على التركيبات الطبقية الموجودة على طول البروفيل، كذلك يمكن الحصول على أعماق ملائمة للتركيب. لذلك نتائج هذه الطريقة تعتبر مرضية للاستكشاف الاستطلاعى الأولى.

عند وجود غطاء سطحى، ومقاومة نوعية عالية (مثل المواد البركانية السميكة)، فإن الأساليب الفنية التقليدية للمقاومة النوعية غير مناسبة للاستكشاف العميق. لذلك فإن طرق الكهرومغناطيسية الأرضية سوف تعطى أحيانا معلومات عن المقاومة النوعية للطبقات أسفل الغطاء. تعتبر طريقة التيار الأرضى المغناطيسى من الطرق المستخدمة لدراسة المقاومات لأعماق كبيرة خلال الأرض.



شكل (6-25): تسجيلات لحظية لمركبات شمالية وشرقية التغيرات فى الزمن فى مجال كهربى. ومركبات شمالية وشرقية ورأسية للتغير مع الزمن فى مجال مغناطيسى متردد. إستخدمت المعلومة فى هذه التسجيلات لحساب المقاومة الظاهرة.

3.2.3.6 إستطلاع (مسح) المجالات المغناطيسية المترددة الطبيعية

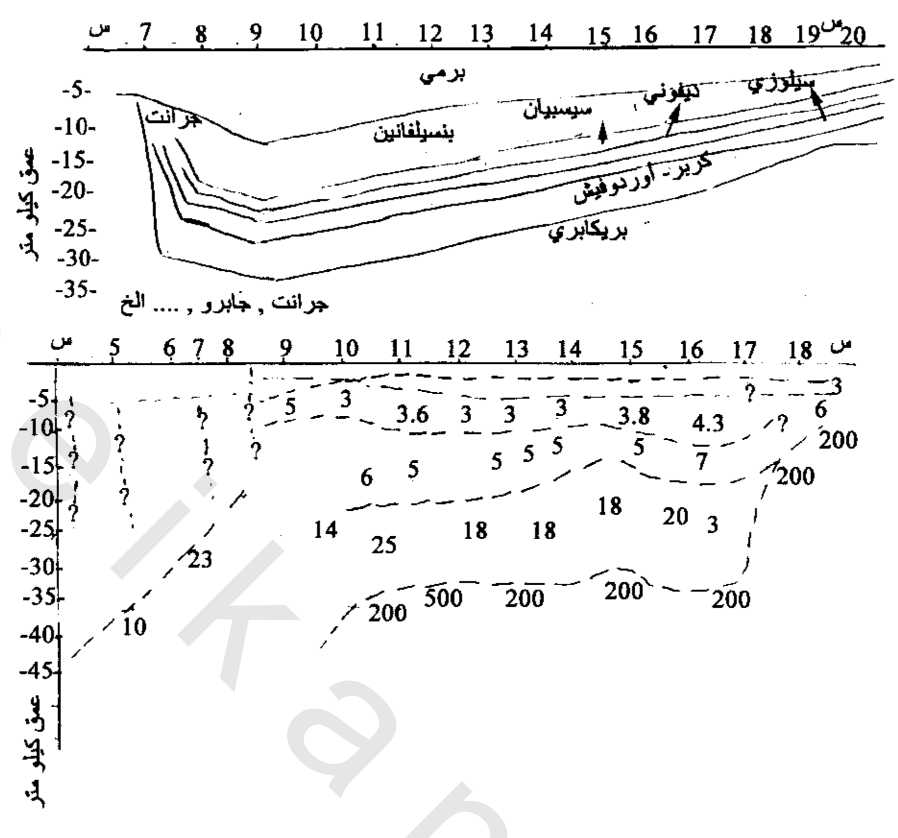
Alternating Magnetic Field Survey (AMFS):

أسلوب فنى ينتسب عن قرب إلى طرق التيار الأرضى والكهرومغناطيسى الأرضى، ويعتمد على قياس المجالات المغناطيسية المتذبذبة (الطبيعية عند ترددات سمعية ودون سمعية.

يغطى المجال الكهرومغناطيسى الطبيعى للأرض نطاق ترددات واسعة. أما المركبات التى توجد فى مدى التردد السمعى (من بضع عشرات إلى بضع آلاف هرتز) تنتج من إضطرابات كهربية فى الجو. فمن مصدر هذه الإضطرابات الكهربية، منذ المجالات التى تجعل المركبات الكهربائية – تقريبا – رأسية وتجعل المركبات المغناطيسية تقريبا أفقية. عندما تصطدم هذه المركبات بمنطقة موصلة مع حد رأسى (كما فى حالة حاجز ينفذ تقريبا للسطح أو إلى السطح) فإن مستوى الإستقطاب للمجال المغناطيسى الأفقى المتعامد سوف يميل بطريقة ما تجعل له مركبة رأسية محسوسة. مثل هذا الميل للمتجه المغناطيسى يدل على عدم استمرارية جانبية فى المقاومة النوعية من النوع الذى يرصد غالبا عند الحواف لجسم خام.

فى عمليات المسح الحقلى لمعظم الحالات تستخدم ملفات كاشفة لقياس الميل وزاوية السمت للمجال المغناطيسى المتردد. عندما تكون زاوية السمت أقرب إلى 10^{o} فإن دقة قياس الميل على طول زاوية السمت يصل إلى 1^{o}-2^{o}. والقيم النمطية للتردد هما 150، 510 هرتز.

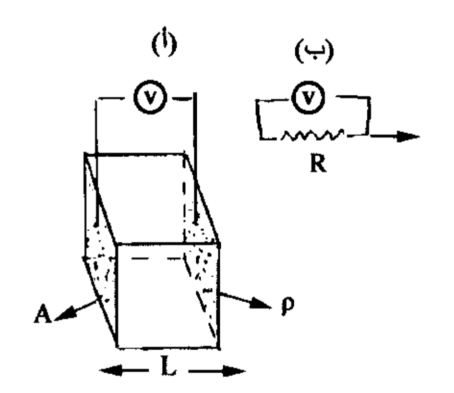
هذه الطريقة لها مدى أكبر للكشف أفقيا ورأسيا عن الطرق التى تستخدم مصادر طاقة صناعية ولذلك فهى مناسبة للكشف عن أجسام كبيرة غائرة. وتستخدم كذلك فى تحديد أماكن الفوالق والحواجز الرأسية المدفونة.



شكل (6-26): أ) قطاع جيولوجى مجمع من نتائج الآبار، ب) قطاع مقاومة محدد من نتائج مجنيتيوك عبر حوض أنا داركو، أوكلاهوما Anadark Oklahoma. قورنت نتائج مجنيتيليوك مع حد فى مدى العمق للتماس بين صخور البريكامبرى البلورية والصخور الرسوبية الحديثة فيزوف كيفا 1972 Vessffekeva

4.6 طرق المقاومة النوعية Electrical Resistivity Methods:

فى هذه الطرق يستخدم التيار المستمر أوالتيار ذى التردد المنخفض. وبما أن المقاومة هى خاصية كهربية أساسية لمواد الصخر ومرتبطة بشدة مع الخواص الصخرية، فإن التوزيع التحت سطحى للمقاومة النوعية من قياسات على السطح يمكن أن يعطى معلومات مفيدة عن التراكيب التحت سطحية الجيولوجية أو محتوى التكوينات الجيولوجية المدفونة.



شكل (6-27): أ) تحديد أساس للمقاومة عبر كتلة متجانسة طول جانبها L يمر به تيار I وانخفاض الجهد بين السطحين المتقابلين V ، ب) الدائرة الكهربية المكافئ حيث R المقاومة

1.4.6 قواعد أساسية Basic Principles:

1.1.4.6 المقاومة الحقيقية True Resistivity:

إذا مر تيار كهربائى فى قطعة صخرية على هيئة مكعب (6-27) فإن المقاومة تتناسب طرديا مع الطول وعكسيا مع المساحة

$$\therefore R \propto L/A \tag{6-8}$$

حيث R المقاومة، L الطول، A المساحة

$$R = \rho L/A \tag{6-9}$$

حيث ρ المقاومة الحقيقية.

ولكن تبعا لقانون أوم Ohm law فإن

$$R = V/I \tag{6-10}$$

حيث V إنخفاض الجهد عند مرور التيار فى المكعب ، I شدة التيار

من (6-9) & (6-10)

$$\therefore \rho L/A = V/I$$

$$\therefore \rho = \frac{VA}{IL} \quad (\text{أوم/متر } \Omega/m) \tag{11}$$

مقاومة المواد الجيولوجية تمثل واحد من أكبر مدى لجميع الخواص الفيزيائية تتراوح من 1.6×10^{-8} أوم/متر للفضة الضبيعية إلى 10^{16} أوم/متر للكبريت النقى. أما الصخور الرسوبية فتشير غالبا إلى أنها موصلة وذلك لوجود ثقوب محتوية سوائل، أما الصخور المتحولة لها وضع متوسط بينهما ولكن لها مقاومات متراكبة. أيضا فإن الزمن الجيولوجى له تأثير على المقاومة فمثلا الصخور البركانية الرباعية لها مقاومة فى المدى من 10-200 أوم/متر بينما نفس هذه الصخور فى زمن البريكامبرى لها رتبة لقيمة أكبر. وتبعا لذلك فإن الصخور القديمة لها بعد كبير للإستكشاف لملأ فتحاتها ثانية بواسطة التمعدن، والضغط يقلل المسامية والنفاذية.

فى الصخور الرسوبية فإن مقاومة السوائل الخلالية (بين الفتحات) نسبيا أكبر أهمية من الخصور المضيفة. فمثلا المياه الأرضية المالحة لها مقاومة أقل من 0.05 أوم متر، وبعض المياه الأرضية ومياه الثلاجات المذابة يمكن أن يكون لها مقاومة أكبر من 1000أوم متر. يوضح جدول (6-4) مقاومة بعض المعادن والصخور الشائعة.

جدول (6-4) مقاومة المواد الجيولوجية الشائعة.

المادة	مقاومة اعتبارية (Ωm)	المادة	مقاومة اعتبارية (Ωm)
كبريتيدات:		جابرو	$^{6}10x^{3}10$
		بازلت	$^{7}10x1.3-10$
كالكوبيريت	$^{1-}10x3-^{5-}10x1.2$	شيست (جيرى وميكا)	$^{4}10-20$
بيريت	$1.5-^{5-}10x2.9$	شيست (جرافيت)	$^{2}10-10$
بيرهوتيت	$^{2-}10x5-^{6-}10-7.5$	اردواز	$^{7}10x4-^{2}10x6$
جاليتا	$^{2}10x3-^{5-}10x3$	رخام	$^{18}10x2.5-^{2}10$
سفاليريت	$^{7}10x1.5$	كونجلوميرينات	$^{4}10-^{3}10x2$
أوكسيدات		أحجار رملية	$^{8}10x7.4-1$
هيماتيت	$^{7}10-^{3-}10x3.5$	أحجار جيرية	$^{7}10x5-^{2}10x3.5$
ليمونيت	$^{7}10-^{3}10$	دولوميت	$^{3}10x5-^{2}10x3.5$
ماجنتيت	$^{3}10x5.7-^{5-}10x5$	مارل	10x7-3
المنيت	$10x5-^{3-}10$	طين	$^{2}10-1$
كوارتز	$^{6}10-^{2}10x3$	غرين ورمل	$^{2}10x8-10$
صخر ملحى	$^{13}10-10x3$	ركام جليدى	$^{3}10x5-10$
انتراسيت	$^{5}10x2-^{3-}10$	حجر جيرى غامق	400-100
ليجنيت	$^{2}10x2-9$	تربة (40%) جليد	8
جرانيت	$^{6}10x-^{2}10x3$	تربة (20%) طين	33
جرانيت (مجوى)	$^{2}10x5-10x3$	أعلى التربة	1700-250
سينيت	$^{6}10-^{2}10$	قطع طين	35-15
دايوريت	$^{5}10-^{4}10$	طين (جاف جدا)	150-50
متوسط طبقة الفحم	100<	حجر طينى	60-20
طباشير	150-50	فحم يحتوى طين	50
		البصرة (اللاتيرايت)	1500-800
حصى (جاف)	1400	تربة لاتيرينية (تربة شبه طينيه	750-120
حصى (مشبع)	100	حمراء حديدية)	
رمل	100-50	تربة رملية جافة	1050-80
(رباعى/حديث)		رملى طينى/طينى رملى	215-30
ماء	4	رملى وحصى	225-30
نفايات فحمية	20-10	مدافن غير مشبعة	100-30
مياه حمضية لخشب	100	مدافن مشبعة	30-15
صخرى نصف متفحم			
مياه مناجم حمضية	20	صرف مياه أمطار	100-20
		صرف مدافن	50-10<
		ثلج مجمد (معتدل الحرارة)	$^{8}10-1.2-^{6}10x2$
		ثلج مجمد (قطبى)	$^{*5}10x3-^{4}10x5$
		تربة دائمة التجمد	$^{4}10-^{3}10$

* (-10 درجة حرارة إلى -60 درجة حرارة).

بعض المعادن مثل بيريت، جالينا، ماجنيتيت تكون عامة فقيرة التوصيل فى الكتل عنها عندما تكون بلورات مفردة لها توصيلات عالية. ويكون الهيماتيت وسفاليريت عازلا عندما يمر به التيار الكهربى أفقيا ولكن عندما يحتوى على شوائب فإنه يصبح موصل جيد (مقاومة أقل من 0.1 أوم متر). ويقلل الجرافيت المقاومة الكهربية الكلية للمعادن الأخرى فقيرة للتوصيل الموجوده معه فى الكتل الصخرية. الصخور الأخرى التى لها تكوينات مختلفة لسحنات متدرجة مثل الصخور الرسوبية فإن المقاومة سوف تعكس تغير الخواص لمكونات المواد.

هدف أغلب المسح الحديث للمقاومة الكهربية الحصول على نماذج مقاومة حقيقية للتحت سطحية، حيث تؤدى هذه النماذج لمعنى جيولوجى.

2.1.4.6 المقاومة النوعية الظاهرية Apparent Resistivity:

عموما، تستخدم طرق المقاومة النوعية لقياس المقاومة النوعية الظاهرية. لتوضيح مفهوم المقاومة النوعية الظاهرية، إذا أدخل تيار I فى جسم صلب نصف لانهائى ذا مقاومة نوعية حقيقية منتظمة ρ عبر قطبين B, A على سطحه كما فى شكل (6-28)، وقيس الجهد المصاحب لهذا التيار عبر قطبين D, C على نفس السطح، يكون الجهد عند C

$$V_C = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \qquad (6\text{-}12)$$

حيث r_2, r_1 المسافات من نقطة قياس الجهد عند C إلى B, A على التوالى

$$V_D = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad (6\text{-}13)$$

حيث R_2, R_1 المسافات من نقطة قياس الجهد عند D إلى B, A على التوالى

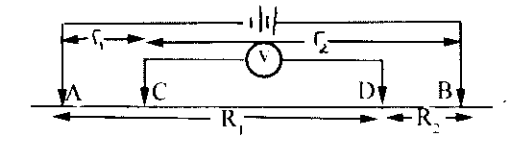
∴ فرق الجهد D, C

$$\Delta V = V_C - V_D = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \qquad (6\text{-}14)$$

وتكون ρ هى ρ_a فقط عندما تكون ρ منتظمة تحت السطح

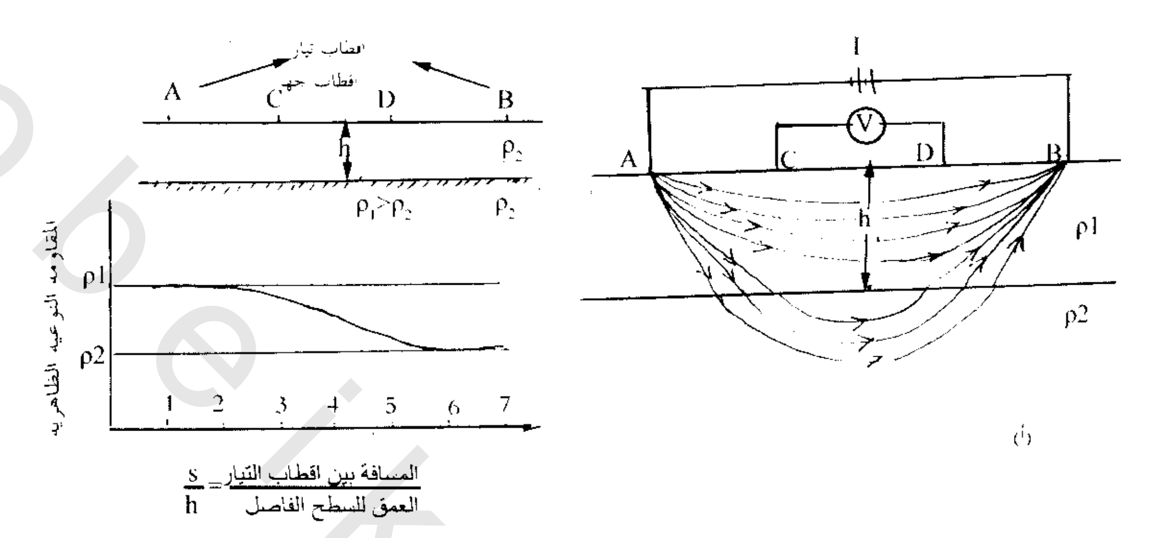
$$\therefore \rho_a = \frac{2\pi V}{I}\frac{1}{1/r_1 - 1/r_2 - 1/R_1 + 1/R_2} \qquad (6\text{-}15)$$

النتيجة السابقة لاتتأثر بتبادل أقطاب التيار والجهد مع بعضها.



شكل (6-28): يوضح طريقة قياس المقاومة النوعية الظاهرية B, A أقطاب دخول التيار الكهربى فى الأرض، D, C أقطاب قياس الجهد الكهربى

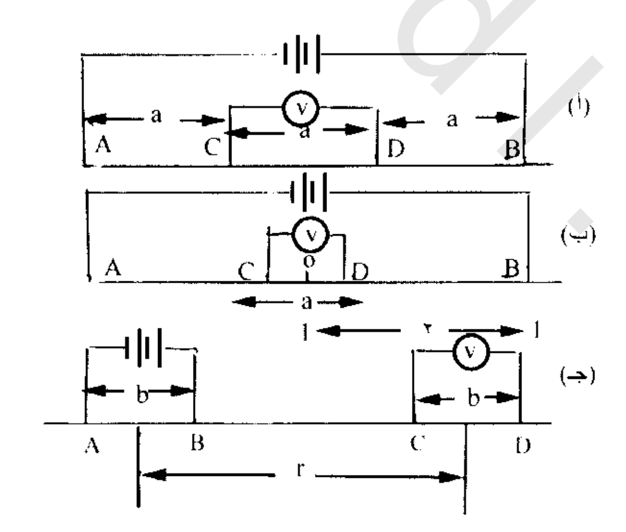
لذلك فإن المقاومة النوعية تنتج من مرور التيار الكهربى فى أكثر من طبقة غير متجانسة. ويوضح شكل (29-6) منحنى تخطيطى للمقاومة النوعية الظاهرية مقابل نسبة المسافة بين الأقطاب إلى العمق فى حالة طبقتين



شكل (29-6): أ) خطوط سريان التيار بين B, A فى أرض ذات طبقتين بموصلين نوعيين مختلفين، ب) المقاومة النوعية الظاهرية كدالة للمسافة بين الأقطاب لحالة الطبقتين الموضحين فى شكل أ.

2.4.6 الطرق الحقلية وترتيب الأقطاب :Field Methods and Electrodes Arrangements

فى جميع الطرق الحقلية تكون مجموعتين الأقطاب (أقطاب التيار والجهد) موضوعة على خط واحد. غالبا ما توضع أقطاب التيار على الخارج من أقطاب الجهد. ترتيب الأقطاب الأوسع استعمالا كالآتى شكل (30-6).



شكل (30-6): أ) ترتيب وينر Wenner، ب) ترتيب لمبرجير Schlumberger، جـ) ترتيب ثنائى القطب Dipole

1.2.4.6 ترتيب وينر :Wenner

من أكثر ترتيبات الأقطاب شيوعا لقياسات المقاومة النوعية، فى هذا الترتيب تكون الأبعاد بين القطاب متساوية كما فى شكل (30-6) فى هذا النظام تصبح المعادلة (14-6) حيث a المسافة المتساوية بين الأقطاب.

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \tag{6-16}$$

2.2.4.6 ترتيب شلمبرجير Schlamberger:

فى هذا الترتيب توسع المسافة بين الأقطاب بزيادة المسافة بين قطبى التيار أو التى بين قطبى الجهد. ويفترض أن يكونا قطبى الجهد على بعد متناهى الصغر فيما بينهما. المقاومة النوعية الظاهرية عند المنتصف لترتيب شلمبرجير من المعادلة (6-14) هى

$$\rho_a = \frac{\pi r^2}{a}\frac{V}{I} \tag{6-17}$$

حيث a المسافة بين أقطاب قياس الجهد، وحيث تكون r المسافة بين منتصف أقطاب الجهد وأحد أقطاب التيار محددة فى الرسم البيانى، ولنتائج دقيقة يجب أن تكون a أقل من $\frac{r}{5}$.

3.2.4.6 ترتيب ثنائى القطب Dipole Arrangement:

أكثر تقدما من الترتيبين السابقين وتستخدم كثيرا فى الإتحاد السوفيتى للاختراق العميق. أقطاب التيار تكون عادة منفصلة جيدا عن أقطاب الجهد. إذا كانت المسافات a متساوية والمسافة بين مراكز الأزواج المناظرة هى r، فإن المقاومة النوعية الظاهرية المحددة بواسطة هذا الترتيب هى

$$\rho_a = \pi\left(\frac{r^2}{a} - r\right)\frac{V}{I} \tag{6-18}$$

هذا فى حالة ما يكون الترتيب على خط مستقيم واحد.

3.4.6 إلغاء الجهود الزائفة عند الأقطاب Cancel Counterfeit Potential at Electrodes:

بالإضافة إلى فرق الجهد المصاحب للتيار الداخل إلى الأرض بواسطة أقطاب التيار، فإن قراءة الجهد قد تحتوى على جهود كهروكيميائية زائفة بين الأقطاب والمحاليل الكهربية فى الأرض، ولتلافى ذلك يمكن إستخدام الآتى:

أ- أقطاب غير مستقطبة (مثل وعاء مسامى، كبريتات نحاس، نحاس).

ب- مبدل عكس إتجاهات التيار وكذلك إستعمال القطبين. فعندما يكون الجهد حوالى 30 مرة فى الثانية، وكل الجهود المستقطبة عند الأقطاب تكون معكوسة فى الإشارة مع كل نصف دورة فإن الجهود الزائفة تتلاشى.

جـ- حديثا تستخدم أنظمة تسليط نبضات تيار مستمر إلى الأرضية بقطبيه متغيرة ومعكوسة.

د- إستخدام تيار متغير ذى تردد منخفض حوالى 5 هرتز.

4.4.6 البروفيل الكهربى Electric Profiling:

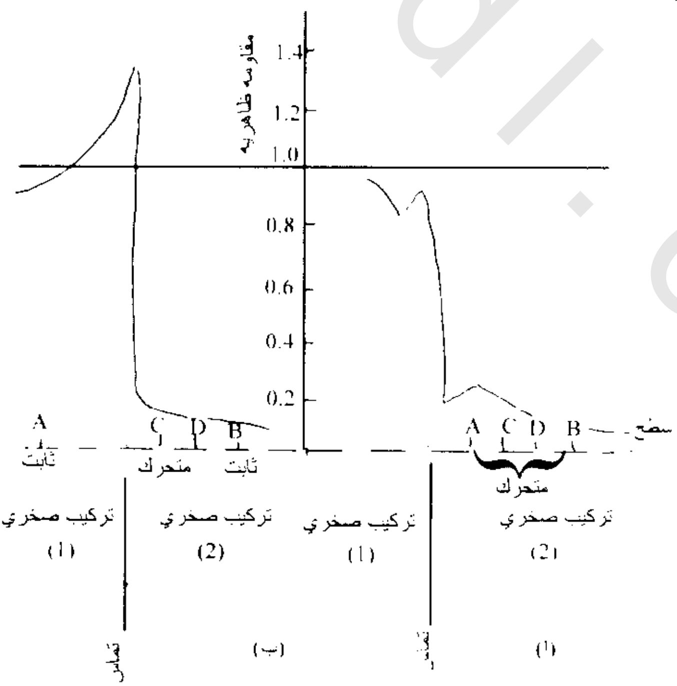
يطلق على هذه الطريقة أيضا (تشكيل البروفيل المستمر)، والهدف من هذه الطريقة هو كشف التغير الجانبى فى المقاومة للأرض.

فى طريقة شلمبرجير (شكل 6-30 ب) تظل أقطاب التيار الكهربى ثابتة على مسافة كبيرة نسبيا، مثلا، لعدة مئات قليلة من الأمتار وتتحرك أقطاب الجهد ذات البعد الصغير الثابت، وتحسب المقاومة الظاهرية من المعادلة (6-16) لكل مكان تأخذه حركة زوج أقطاب الجهد. وفى نهاية البروفيل ينقل العمل لخط مجاور وهكذا إلى أن يتم تغطية فحص المنطقة. فى الحقيقة، تكون خطوط البروفيل عادة عمودية الزوايا على خط المضرب للتركيب الجيولوجى (مثل الفوالق والسدود) لتخريطها لذلك يتوقع إيجاد شئ ما فى النتائج من بروفيل آخر.

فى طريقة ونر شكل (6-30 أ) تتحرك الأقطاب الأربعة كمجموعة بصفوف محددة بالبعد (a) الموجود بين الأقطاب فى خطوات ملائمة، مثلا، 10-20 متر على طول خط القياس. يعتمد اختيار مسافة الصفوف (a) على عمق ظاهرة شاذة المقاومة المنخرطة. يرى المنحنيان فى شكل (6-31) منحنيات المقاومة الظاهرية المحصول عليها بواسطة بروفيلات شلمبرجير وونر عبر تماس رأسى بين تكوينى صخرى. منحنى ونر يختلف فى أن له أربع مدبدبات مؤنفة، وربما لاتلاحظ هذه المدبدبات إذا لم تؤخذ القياسات عند فترات متقاربة جدا.

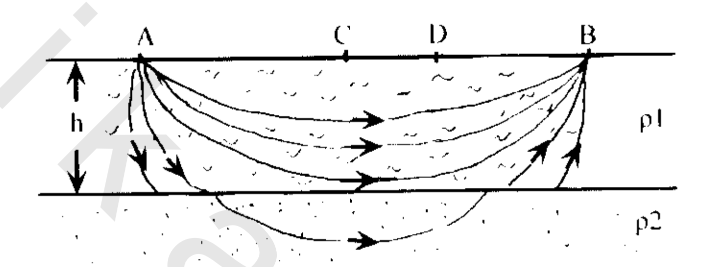
5.4.6 الإستطلاع (أو التثقيب الكهربى أو الإستطلاع الكهربى الرأسى) Electric Sounding (or Drilling) or Vertical Sounding:

عندما تتكون منطقة البحث من عدة طبقات أفقيه، فيكون المطلوب معرفة التغير الرأسى فى المقاومة. يكون هدف الآستطلاع الكهربى إستنتاج تغير المقاومة العمق أسفل النقطة المأخوذة على سطح الأرض ومقارنتها مع معلومات التغير الجيولوجى لكى تستنتج الأعماق والمقاومات للطبقات (التكوينات) الموجودة، والطريقة موضوعة على حقيقة أن



شكل (6-31): مقاومة ظاهرية عبر تماس رأسى بين تركيبين صخريين باستخدام تشكيلات قطبية مختلفة التركيب (1) له مقاومة (4) مرات التركيب الثانى. (أ) بروفيل ونر، (ب) بروفيل شلمبرجير حيث يرى أكثر انحدار تدريجى من بروفيل ونر.

التيار يخترق باستمرار الأعمق مع زيادة أبعاد أقطاب أقطاب التيار. يوضح شكل (6-32) أساس تطبيق مسألة طبقتين فعندما يكون أبعاد أقطاب التيار AB صغير بالمقاومة للسمك h للطبقة العلوية فإن المقاومة الظاهرية المحدد بواسطة ΔV بين أقطاب الجهد CD تدل على نفس مقاومة الطبقة العلوية ذات مقاومة ρ_1. هذا بسبب الجزء الصغير للتيار الذى يخترق الطبقة السفلية أسفل الحد. وبزيادة أبعاد أقطاب التيار فإن جزء كبير من التيار يخترق أعمق، وتشوه خطوط إنسياب التيار عند الحد الفاصل. وعندما تكون أبعاد أقطاب التيار كبيرة بالمقارنة مع عمق الطبقة العلوية (h) فإن المقاومة الظاهرية تقترب من ρ_2. حيث يهمل جزء من التيار المحدد (المحصور) للطبقة السطحية. ويوضح شكل (6-33) نموذج لمنحنيات طبقتين وثلاثة للتغير فى المقاومة الظاهرية كدالة لأبعاد أقطاب التيار لتناسق طريقة استطلاع شلمبرجير الكهربية والتى فيها أقطاب الجهد تحفظ ثابتة وأقطاب التيار تتحرك بتماثل للخارج فى خطوات.



شكل (6-32): اساس تنقيب كهربى لأصغر بعد أقطاب التيار (AB) ونعنى أن (h) العمق أكبر من المسافة. وبذلك يكون التيار قد حدد الطبقة السطحية ذات مقاومة ρ_1. بزيادة المسافة AB فإن جزء كبير من التيار يخترق أعمق فى الطبقة السفلى ذات مقاومة ρ_2

فى طريقة ونر للاستطلاع الكهربى فإن صف المسافة (a) تزداد بخطوات مع الإحتفاظ بالنقط المتوسطة للشكل (نقط الثقب (drilling point) ثابتة. المجموعة النموذجية لتوزيع الأبعاد تكون

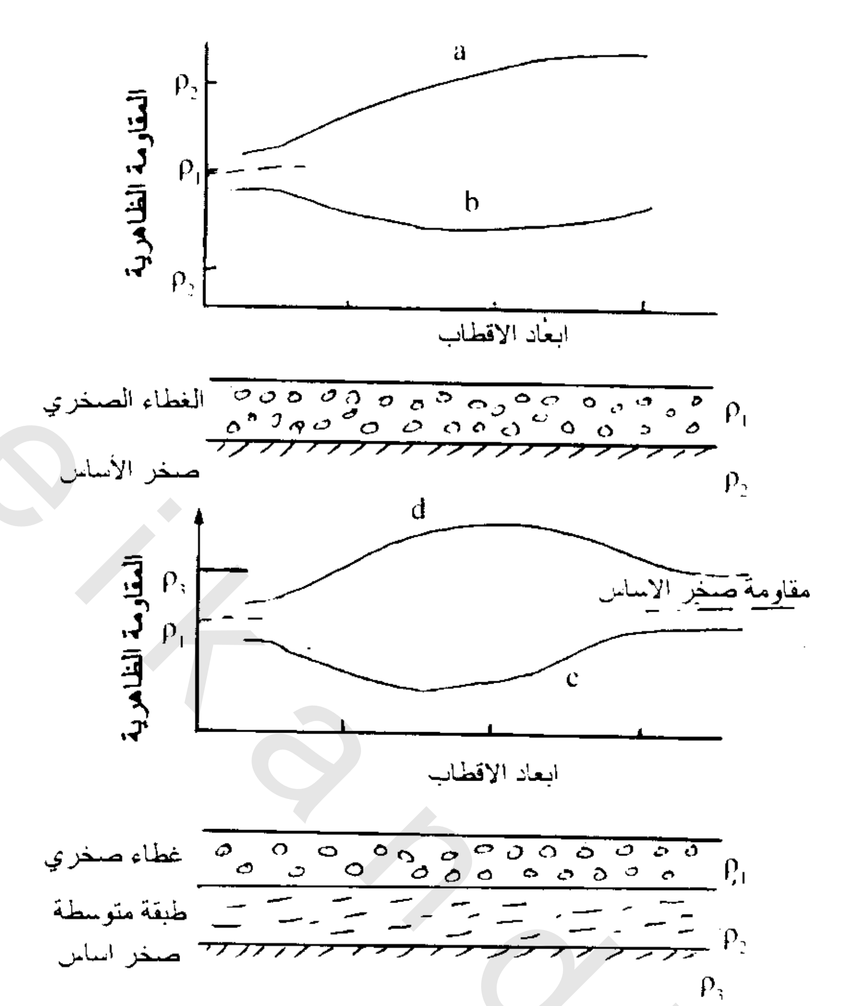
a = 2.6, 18.54,Ö . m

ومنحنيات المقاومة (المقاومة بالنسبة للمسافة a) لاستطلاع ونر تأخذ نفس الشكل العام ولكنها تختلف عن استطلاعات شلمبرجير شكل (6-33)

6.4.6 أجهزة مساحة المقاومة Resistivity Survey Instruemnts:

فى الحقل، يتم عمل مساحة المقاومة بأجهزة بسيطة تتكون من حزمة بطاريات ذات جهد عالى كمصدر للتيار المستمر، أربع أوتار معدنيه، ميللى متر، فولتمتر، وأربع بكرات كابل عازل. ويتم القياس باستخدام تيار مستمر أو تيار متردد (ذا منخفض جدا). الميزة المحددة لاستخدام تيار متردد هو تجنب الجهد الزائد مثل الذى يحدث باستقطاب الأقطاب أو بواسطة التيار الكهربى الأرضى. ويفضل إستخدام تيار متردد ذى تردد منخفض معكوس، لأن التأثيرات السطحية على الأقطاب تقلل بسرعة شدة التيار مع العمق وتبعا لذلك يقل عمق الفحص.

لاختراق أعماق كبيرة، فمن الضرورى استخدام مصدر تيار مباشر (مستمر)، واستخدام أقطاب غير مستقطبة لمصدر التيار المستمر لمنع تولد جهد الكتروكيميائى بين الأرض ومعدن الأقطاب. وعامة واحداث المقياس التجارية متاحة، حيث أن أغلب المساحات المطلوبة هو إختراق عمق لبعض مئات الأمتار فى حالات ملائمة أرضية.



شكل (6-33): شكل تخطيطى لمنحنيات استطلاع كهربى عبر طباقية أفقية أرضية. ترى منحنيات المقاومة الظاهرية (ρ_a) للحالات الآتية

$\rho_2 > \rho_3 > \rho_1$ (d , $\rho_3 > \rho_1 > \rho_2$ > (c & $\rho_1 > \rho_2$ (b & $\rho_2 > \rho_1$ (a).

يوجد تغير اكثر لمنحنيات الثلاث طبقات مثلا: أ) نموذج تصاعد مزدوج $\rho_1<\rho_2\rho_3$، ب) نموذج هبوط مزدوج $\rho_1>\rho_2>\rho_3$

7.4.6 التفسير الكمى للاستطلاع الكهربى الرأسى: Interpretation of Vertical Electrical Sounding

العمق الذى يتم عنده الحصول على معلومات يكون تقريبا مساويا للمسافة الفاصلة للأقطاب فى ترتيب وينر. معظم النظريات التى طورت لهذا الغرض كانت موجهة للتطبيق على نماذج بسيطة، كطبقات متعددة (أربعة على الأكثر) مفصولة عن بعضها بواسطة سطوح بينية (من الأفضل ان تكون أفقيه، فوالق، منخفضات نصف كروية مملوءة). فى السنوات الأخيرة ظهرت أساليب فنيه عملية للتنبؤ بتأثيرات المقاومة النوعية لأجسام لها شكل اختيارى لايمكن وصفه تحليليا.

كثير من الظواهر الجيولوجية ذات الأهمية الإقتصادية يمكن تمثيلها بصورة طباقية بسيطة، حيث يمكن تقدير عمق الأساس الموجود تحت الغطاء الرسوبى باستخدام معادلات تشكيل طبقتين أكثر من قياسات المقاومة النوعية. معظم مساحات المقاومة النوعية التى أجريت للأغراض الهندسية صممت لتعطى هذا النوع من

المعلومات. ويمكن تمثيل كتل الخامات التى لها مقاومة شاذة بكرات أو أجسام كروانية حيث يمكن حساب أبعادها وعمق دفنها من معطيات المقاومة النوعية باستخدام معادلات رياضية مشتقة لهذه الأشكال الهندسية. نفس الطريقة يمكن تطبيقها للدراسات الخاصة بالمنخفضات المملوءة.

فلطبقة سطحية ذات سمك h ومقاومة نوعية ρ_1 تغطى طبقة تحت سطحية ذات سمك لانهائى وذات مقاومة نوعية ρ_2 (شكل 6-29 أ أو ب) فإن المقاومة النوعية الظاهرية.

$$\rho_a = \rho_1\left\{1+4\left[\frac{K}{\sqrt{1+(2h/a)^2}}-\frac{K}{\sqrt{4+(2h/a)^2}}+\frac{K_2}{\sqrt{1+(4h/a)^2}}\right.\right.$$
$$\left.\left.-\frac{K_2}{\sqrt{4+(4h/a)^2}}+\frac{K_3}{\sqrt{1+(6h/a)^2}}-\frac{K_3}{\sqrt{4+(6h/a)^2}}+\ldots\right]\right\} \qquad (6\text{-}19)$$

حيث a هى المسافة بين الأقطاب فى تشكيل وينر، K المقاومة النوعية الإنعكاسية وهى $\frac{\rho_2-\rho_1}{\rho_2+\rho_1}$. وتعبر المعادلة (6-18) عن ρ_2 كمتسلسلة لانهائية ذات الحد n الذى له شكل

$$4\rho_1\left[\frac{K_n}{1+(2nh/a)^2}-\frac{K_n}{\sqrt{4+(2nh/a)^2}}\right]$$

وحيث K دائما يكون أقل من الوحدة، فإن المتسلسلة تتقارب أى أن الحدود تقترب كلما زادت قيمة n وعدد محدود من الحدود فقط يكون لازما لإجراء الجمع.

التفسير الكمى لنتائج المقاومة واحدة من المسائل المعقدة ويجب على المفسر الاحتراس الثابت ضد القواعد البسيطة المبهمة فى هذا المقابل. برغم قيام عدة مؤلفين بدراسة رياضية متقنة، إلا أنه من الصعب الحصول على نتائج ملائمة بواسطة تطبيقات التحاليل النظرية لنتائج المقاومة المحصول عليها فى الحقل. هذا لأن التقدم النظرى يطبق فقط لنموذج سطحى طبقى بسيط بينما عمليا تغير المقاومة يكون عادة أكثر تعقيدا فى التغير الجانبى والرأسى.

يوجد حتى الآن دراسات قليلة لتوزيع المقاومة الظاهرية عبر ثلاث أبعاد غير متجانسة. مع أن هذه الدراست تتم بصعوبة فإن بعض المواقع الجيولوجية يمكن تفسير تقريبى لها بدقة بواسطة تركيبات طبقية بسيطة لتقنية تفسيرية على أساس استخدام تطبيق منحنيات قياسية نظرية.

8.4.6 المنحنيات القياسية وتخريط الطبقات أفقية التركيب

Master Curves and Mapping of Layered Horizontal Structures:

مجموعة المنحنيات القياسية أكثر شيوعا لتفسير معطيات المقاومة النوعية لعدد صغير من الطبقات الأفقية. كل منحنى منها يمثل رسم للمقاومة النوعية مقابل المسافة القطبية لترتيب الأقطاب المستعمل فى الحقل.

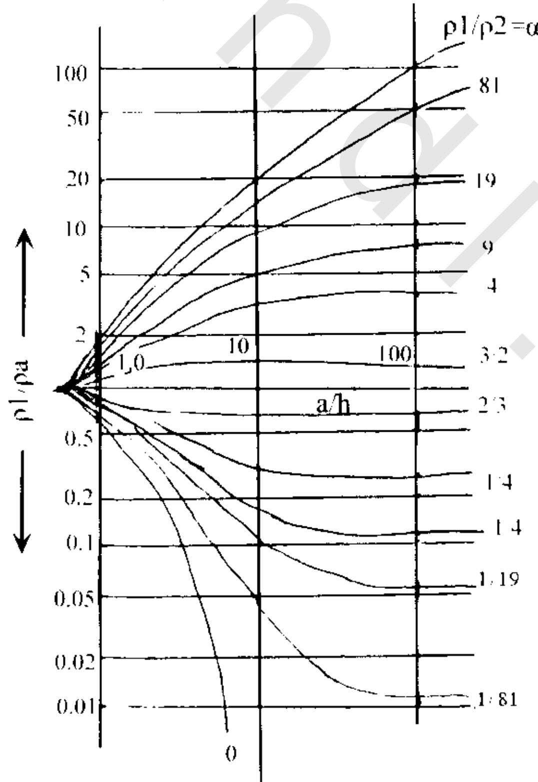
1.8.4.6 حالة طبقتين:

وفيها تكون طبقة بسمك معين h تعلو طبقة متجانسة بسمك لانهائى. وفى هذه الحالة ترسم مجموعة منحنيات لقيم مختلفة لـ h، K، وترسم المقاومة النوعية الظاهرية ρ_a ومسافة الأقطاب a فى طريقة وينر. ثم تقارن منحنيات المعطيات المقاسة مع المنحنيات القياسية النظرية. بعد ذلك تحدد قيم h، K من خصائص المنحنى القياسى الذى يعطى أفضل مقارنة.

عادة ترسم المنحنيات على مقياس لوغاريتمى مثل المبين فى شكل (34-6) لتشكيل شلمبرجير. يمثل المحور الأفقى فى الشكل نسبة المسافة بين قطبى الجهد إلى سمك الطبقة a/h، والمحور الراسى يمثل المقاومة الظاهرية ρ_a إلى المقاومة الحقيقية الأولى ρ_1 (h/ρ_1). وبفرض أن الطبقتين أفقيا تماما فيمكن بذلك تحديد سمك الطبقة h (وهو المجهول الوحيد). وميزة توفعات لو-لو* للمعطيات المقاسة والمنحنيات القياسية هو أن المنحنى التجريبى الذى يعطى أفضل ملائمة للقياسات الحقلية موازى للمنحنى القياسى المطلق. وعادة ما تكون h غير معلومة لذلك يفرض قيمة للعمق (من المعلومات الجولوجية المتاحة) عند توقيع النقط التجريبية. ومن قيمة منحنى a/h للمنحنى القياسى الذى يكون أكثر توازيا مع منحنى القيم المقاسة، يمكن تعيين h.

2.8.4.6 حالة ثلاث طبقات أو أكثر:

نشرت الشركة العامة للجيوفيزياء Compagnie Generale de Geophysique 1955 مجموعة من 480 منحنى قياس (لتشكيلات مقاومة نوعية لثلاث طبقات وذلك على أساس السمك النسبى للطبقات المختلفة ومقاومتها النوعية النسبية. وقد حسبت المنحنيات على ترتيب شلمبرجير القطبى بفرض تزايد تباعد الأقطاب.

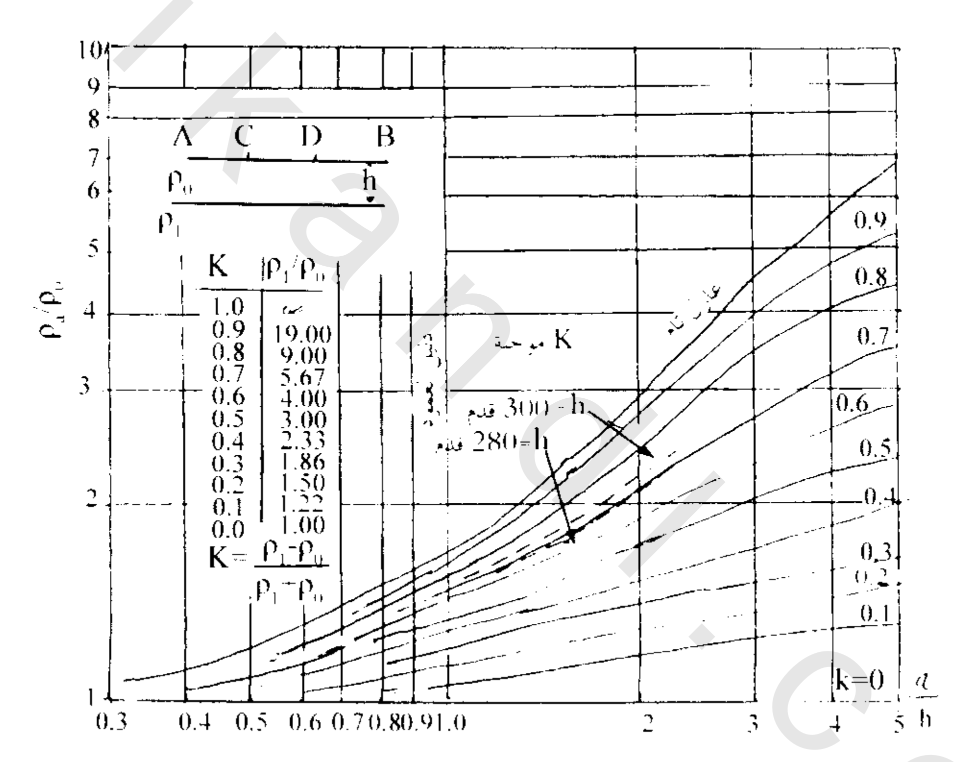


شكل (34-6): منحنيات قياسية نموذجية لترتيب شلمبرجير حين تعلو طبقة بمقاومة نوعية ρ_1 وسمك h ، طبقة تحت سطحية بمقاومة نوعية ρ_2

* لوغاريتم

ويوضح شكل (6-35) كيفية استخدام الثلاث طبقات لتفسير القياسات الحقلية بترتيب أقطاب بطريقة وينر، ترسم معطيات النقط ρ_a مقابل AB/2 (AB مباعدة أقطاب التيار) على ورق لوغاريتمى شفاف. بعد ذلك توضع الورقة البيانية فوق اللوحة المحتوية على مجموعة المنحنيات المختارة للمقارنة ويحرك وضعها أفقيا ورأسيا للحصول على أكثر ملائمة ممكنة. فى المثال المبين بشكل (6-35) تظهر معطيات النقط لتلائم منحنى الثلاث طبقات للحالة التى فيها الطبقة الثانية ذات مقاومة نوعية مقدارها 1/39 من قيمة الأولى، وسمك قيمته Ω مرة فى المقدار، حيث أن الطبقة الثالثة اللانهائية يكون لها مقاومة نوعية لانهائية.

مجموعة من المنحنيات الأكثر تفصيلا، والتى تعطى تشكيلات ثلاث طبقات وكذلك أربع طبقات نشرت بواسطة موفى ووتزل Moovey and Wetzel 1956، أوريلانا ومونى Orellana and Mooney 1966. حديثا وضعت المجموعة الأوروبية لجيوفيزيائيو الإستكشاف European Association of Exploration Geophysicists 1963 منحنيات تسمح بمرونة أكبر فى اختبار نماذج المقاومة النوعية.



شكل (6-35): منحنيات قياس لطبقتين للمقاومة النوعية الظاهرية المعايرة، مقابل مباعدة القطب بتشكيل وينر لحالة مقاومة ظاهرية ρ_a أكبر من المقاومة النوعية ρ_o للطبقة السطحية، ρ_1 المقاومة النوعية لطبقة تحت سطحية لانهائية للنقط الموقعة على الرسم البيانى هى لمجموعة من قيم المقاومة النوعية الظاهرية المقاسة على مختلف التباعدات. الخط العلوى المتقطع يبين توقعا بسمك للطبقة 300 قدم والخط السفلى المتقطع يبين موقع نقط المعطيات بعد الإزاحة للحصول على أفضل ملائمة للمنحنيات القياسية. وهذه توضح أن السمك الحقيقى يكون 280 قدم (فان فوستراند وآخرين Van Vostrad et al 1966)

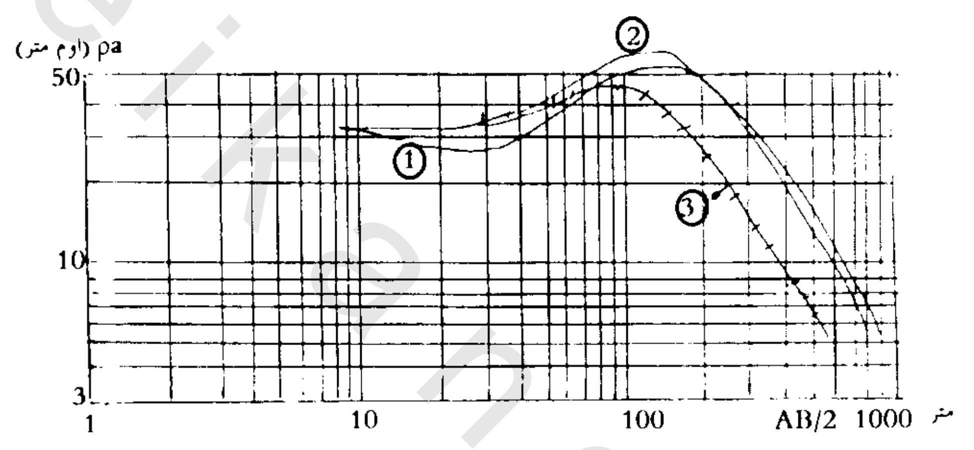
المنحنيات القياسية يمكن تصحيحها أثناء تفسير أى تتابع للطبقات عند استخدام برامج جاهزة للحاسب الآلى. وفى السنوات الأخيرة، تم عمل برامج للحاسب الآلى حلت محل مقارنة المنحنى فى التفسير الروتينى.

المنحنيات الرأسية التى نوقشت هى لفواصل بينية مستوية وأفقية بين الطبقات، أما المستويات البينية المائلة فهى أكثر تعقيدا. يوجد فى المراجع عدة أبحاث لتفسير معطيات المقاومة النوعية الظاهرية لطبقات مائلة.

كذلك ظهرت حلول للمعادلة الأساسية للجهد حث تختلف المقاومة النوعية باستمرار مع العمق سواء كان التغير تدريجى أو فجائى. أيضا يستخدم الحاسب الآلى للحصول على استطلاعات العمق مباشرة من معطيات المقاومة النوعية الظاهرية مقابل مباعدة القطب والتى يحصل عليها فى الحقل.

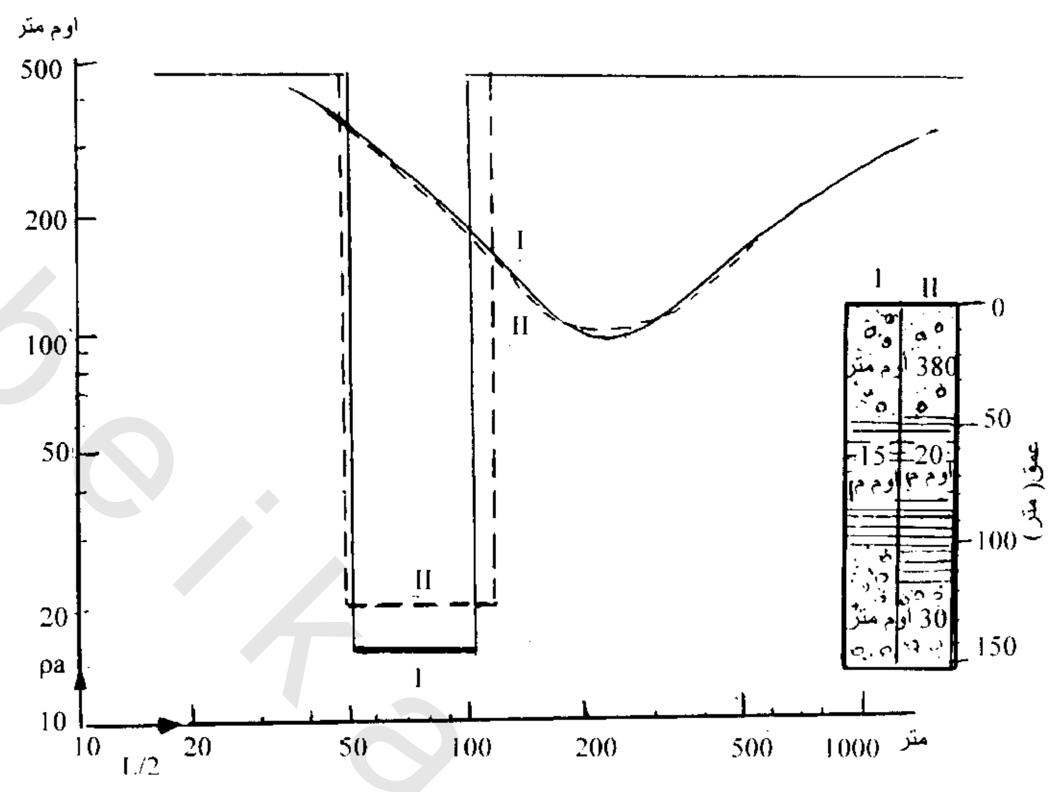
9.4.6 غموض فى تفسير المقاومة Ambigeuty in Resistivity Interpretation:

المثال الحقلى الموضح فى شكل (6-36) يدل على أن معلومات التتابع الطبقى (استراتجرافى) حول طبقية الأرض يمكن الحصول عليها بواسطة قياسات تحت ظروف ملائمة. عامة، ربما يكون قوة التحليل فى هذه الطريقة ليست عالية جدا. وهذه حقيقة خاصة للطبقات العميقة، حيث يحدث التغير الأساسى فى المقاومة قبل تأثيرها ويتضح ملاحظتها من عدم الإنتظام بسبب عدم التجانس قرب السطح.



شكل (6-36): مثال خطى يوضح طريقة المحاولة والخطأ لمطابقة منحنى المقاومة. تدل الحيادات المائلة على ±5% قياس قيم ρ_a. AB ابعاد أقطاب التيار لتشكيل شلمبرجير. المنحنى 1 ,2 حسب من تخمينات أساسية لنماذج جيولوجية قياسية لأربع طبقات المنحنى 3 والذى يوافق النتائج المقاسة حصل عليها بواسطة الحاسب الآلى باستخدام طريقة المربعات الدنيا. الأبعاد الطبقية التى حصل عليها هى ρ_1=38 متر أوم، h_1= 6 متر (جوهانس Johanson 1975) ρ_2 = 27 أوم متر ، h_2 = 15 متر، ρ_3 = 160 أوم متر، h = 21 أوم متر، ρ = 3.5 أوم متر.

بالإضافة فإن "أساس التكافؤ" وأساس الإخماد ينتج أنواع أخرى من غموض التفسير. مثال ذلك، وجود طبقة رفيعة موصلة نسبيا بين طبقتين عاليتين بالمقاومة سوف تؤدى لتركيز إنسياب التيار فيها.وسوف لايبدل التيار الكلى المحمول بواسطتها إذا زيدت مقاومتها ρ، ولكن فى نفس الوقت يزيد سمكها h لذلك فإن النسبة h/ρ تكون ثابتة، ويوضح ذلك شكل (6-37). على الجانب الأخر، يتميز وجود طبقة ذات مقاومة كبيرة بين طبقات أكثر توصيلا بحاصل ضرب سمكها ومقاومتها. لهذا، فى هذه الحالة، تكون جميع الطبقات المتوسطة والتى حاصل ضرب hρ ثابت متكافئة كهربيا. فى حالة أخرى، من الصعب بل ومن المستحيل تحديد عدم تطابق ρ, h. أيضا ، الطبقة المتوسطة، والتى لها مقاومة متوسطة من المقاومات للطبقات الحاوية، سوف لايكون لها تأثير عملى على منحنى المقاومة، طالما سمكها (بالمقارنة مع العمق) ذو كبر كافى. بالنسبة للطبقات صغيرة السمك فإن تأثيرها على منحنى المقاومة الظاهرة ρ_a لايمكن تقديره لأن تأثير وجود الطبقة سوف يخمد. يوجد هذا القصور تبادليا لاكتشاف طبقات لمقاومات متوسطة فى دراسة المياه الجوفية عندما توجد غرينية مبللة بين طبقة غرينية (سطحية) جافة وطبقة طفيلية تحتية.

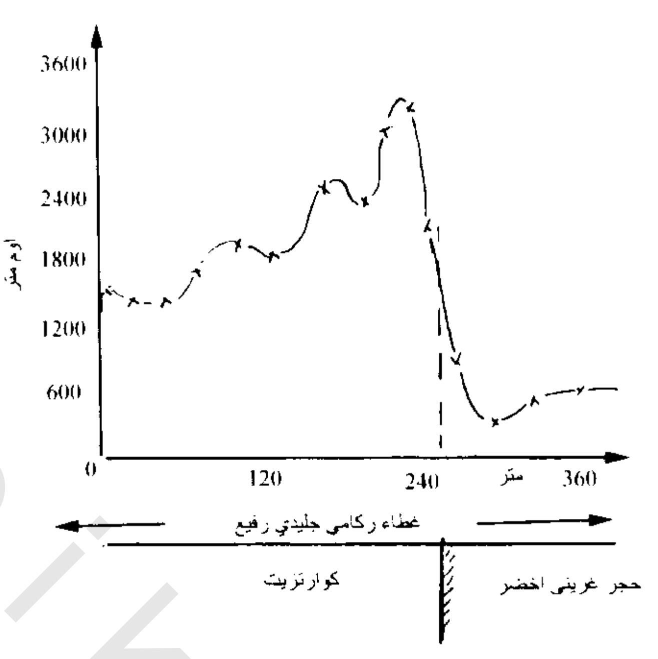


شكل (7-37): يوضح أساس تكافؤ لطبقة بين طبقتين مقاومتين. فى الشكل منحنيات المقاومة تكون عمليا نفس الموقعين. (I) طبقة متوسطة لمقاومة 15 متر أوم وسمك 15 مترا و(II) مقاومة 66 متر (بنتز Bentz 1961)

10.4.6 تخريط التراكيب الرأسية Mapping of Vertical Structures:

بعكس دراسة تأثير الطبقات الأفقية، فإن تأثير التركيبات الرأسية (مثل فوالق، شقوق، سدود، عروق، نطاقات القص) تكون جانبية إذا ظهرت هذه الظواهر سطحيا، لذلك يحدث اضطرابات غير مستمرة فى ميل منحنيات ρ_a شكل (6-31) طالما تتحرك شكل الأقطاب عبر حدالمقاومة الرأسى. عمليا، ربما، القمم الحادة ستكون عادة منسجمة بسبب تأثير التربة العادية أو الغطاء الركامى.

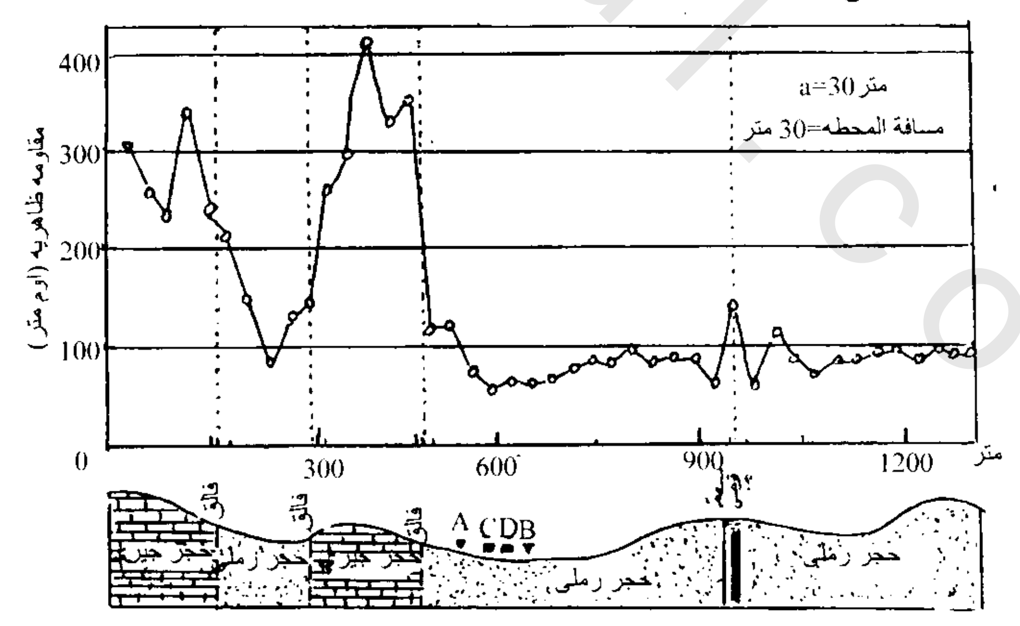
وحيث يعتبر الفالق من أغلب التركيبات الجيولوجية التى تدرس، فكثير من مفتاح الظواهر موجودة فى شذوذ المقاومة عبر الفالق الراسى. وايضا توجد فى الشواذ عبر قرب التركيبات الرأسية. أبعد من هذا عندما تكون شاذة المقاومة ذات أهمية. فإن شاذة الفالق أحيانا تمثل مشكلة ماس رأسى بين وسطين مختلفى الكثافة. وقد حسبت نظريا بروفيلات للمقاومة الظاهرية عبر تماس رأسى لفوارق مقاومة مختلفة. وعندما تكون المنحنيات المحسوبة لـ ρ_a غير مستمرة عند الحد الرأسى فإنها تدل على عدم الإستمرارية عمليا كتدرج مفاجئ فى منحنى المقاومة. يرى شكل (6-38) منحنى حقلى للمقاومة الظاهرية ρ_a حصل عليها بواسطة بروفيل أفقى بتشكيل وينر عبر قرب تماس رأسى بين بالك كوارتزيت Balk quartizite وحجر غرينى أخر فى جنوب بورنهولم Bornholm.



شكل (6-38): بروفيل مقاومة ظاهرية عبر تماس رأسى بين كواتزيت وحجر غرينى أخضر فى جنوب بورنهولم Bornholm يقيس البروفيل بنظام وينر متحرك مع تثبيت صفوف المسافة (a=12 متر)

تفسير نتائج المقاومة الملاحظة عبر "مزدوج نحاس" تكون هامة لتخطيط ظواهر مثل سدود، عروق، مناطق بريشيا، وجميعها ربما تكون لها علاقة مباشرة أوغير مباشرة لرواسب معدنية.

يرى شكل (6-39) بروفيل مقاومة تقاس عبر منطقة قصية وكتل حجر جيرى بها فوالق باستخدام تشكيل وينر. المقاومة الحقيقية لمنطقة القص أكبر من الصخور المحيطة (حجر رملى). المقاومة عبر كتل الحجر الجيرى له خواص تشبه التى تكون عبر سد عريض، بينما منحنى المقاومة الظاهرية ρ_a عبر منطقة القص يشبه التى تكون عبر سد رفيع ذى مقاومة عالية.



شكل (6-39): بروفيل مقاومة أفقى عبر منطقة قص وفالق فى كتل الحجر الجيرى فى الينوس Illinois (ترتيب ونر) (هيوبرت Hubbert 1932)

11.4.6 تأثير كتل الصخر المميزة لشاذات المقاومة النوعية

Effect of Characteristic Rock Masses for Resistivity Anomalies:

تحليل شاذات مجالات الجهد الناشئة من أجسام كتلية مدفونة مميزة مثل كتل الخام أكثر تعقيدا من تحليل شاذات الطبقات. لذلك لابد من تمثيل الكتلة بشكل هندسى عام ككرة. وقد تم التوصل إلى إمكانية تحديد المقاومة النوعية الظاهرية فوق كرة موصلة بواسطة طريقة وينر وتحليلها، وذلك بفرض أنها ذات سطح علوى على عمق أكبر من نصف قطرها.

وبقياس المقاومة النوعية فوق كرة موصلة بواسطة طريقة وينر وتحليلها أمكن التوصل إلى أن أى كرة ما ذات سطح علوى على عمق أكبر من نصف قطرها لايمكن تحديدها بقياسات تقليلدة للمقاومة النوعية وينطبق هذا أيضا على المنخفضات المملوءة القريبة من السطح، حيث مثلت هذه المنخفضات بأنصاف كرات وأنصاف أجسام شبه كروية مع وجود مستوياتها المحيطة على سطح الأرض. وقد حسبت المنحنيات النظرية بكل من الإستطلاع الأفقى (مباعدة قطبية ثابتة مع إزاحة المجموعة أفقيا على خط عرضى) والإستطلاع الكهربى الرأسى.

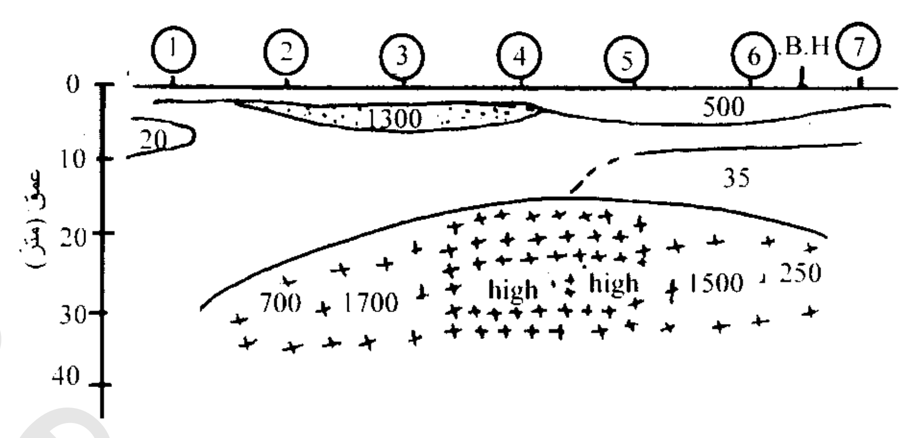
أما بالنسبة لأجسام خامات مرتفعة الموصلية مثل الكبريتيدات فيحفر أولا حفر استكشافى ثم تتم قياسات المقاومة النوعية فى أماكن الحفر حتى يتلامس قطب أو أكثر مع جسم الخام وذلك لمحاولة تحديد أبعاد الجسم. هذه الطريقة من أكثر الطرق عمليا وذلك إذا أمكن تقريب الكتلة تحليليا بشكل هندسى مثل جسم كروى. وقد حسب بعض المؤلفون منحنيات مقاومة نوعية ظاهرية لجسم شبه كروى مفلطح حول مركز الكتلة. وكذلك نشرت منحنيات لجسم خام موصل يشبه الجذع ذى شكل شبه كروى متطاول وشبه اسطوانة دائرية قائمة.

عامة يستحسن معرفة شواهد جيولوجية لتقريب مدى التفسيرات المختلفة سواء كانت طبقات أفقية أو أجسام شبه هندسية والتى لايمكن أن تتحقق بنفس درجة الدقة على أساس معطيات كهربية مفردة.

12.4.6 تفسير خرائط المقاومة Interpretation of Resistivity Maps:

عادة يتم عمل خرائط المقاومة للحصول على صورة عامة لحالات تكوينات السطح القريب والتحت سطحى فى أى منطقة. بعكس بروفيلات المقاومة، فإن تفسير خرائط المقاومة تكون أكبر كيفيا. الأمثلة الآتية تستخدم لتوضيح إستخدام تخريط المقاومة فى دراسات جيولوجية وهيدروجيولوجية.

تعتبر طرق المقاومة ملائمة جدا لتحديد التداخلات، حيث أن فروق المقاومة بين التداخلات والصخور الإقليمية المحيطة تكون عادة عالية. ومن الممكن تمثيل الأجسام المتداخلة كحاملات مياه جوفية. كذلك يمكن تحديد تداخل جسم على هيئة قبة صغيرة فى الشيست كما فى شكل (6-40). يوضح الشكل أن الكتلة على هيئة قبه لها مقاومة عالية فى المركز مع علامة إقلال فى إتجاه الحواف حيث يوجد تحولات بسبب القص والكسر. وبحفر بئر بين جسات رقم 6، 7 عند حافة الجسم المتداخل ظهرت المياه عند أعماق 15، 26، 35 متر.



شكل (6-40): قطاع مفسر حصل عليه من 7 جسات جيوكهربية عبر تداخل جسم مدفون فى منطقة ليوساكا-زامبيا Lusaka-Zambia تدل الأعداد بالشكل على المقاومة بالأوم متر. أنتج البئر المحفور ماء عند حافة تداخل الجسم عند أعماق ما بين 15-35 متر

يمثل شكل (6-41) مثال آخر لخريطة مقاومة لمنطقة منخفضة مستصلحة من البحر فى منطقة نورد هولاند Noord Holland. كان الهدف الأول من قياس المقاومة دراسة توزيع الملوحة للمياه الجوفية وبيئتها فى المنطقة. دل تفسير القياسات على وجود مياه عذبة عند شرق وغرب حواف المنطقة بينما ظهر فى نفس المنطقة 30 متر مياه مالحة تقع فوق بعض من عشرات الأمتار لمياه جوفيه عذبة. يعزى التوزيع العكسى لهذه المقاومة إلى وجود طبقة غير مسامية من الطين لعصر الهولوسين، طوبق وجود مثل هذه الطبقة الطينية بواسطة بعض تسجيلات الآبار بالمنطقة. ايضا تمت تطبيقات واسعة لمساحات المقاومة فى تفسيرات أعماق ضحلة لها علاقة مع الهندسة المدنية ومشاكل تقنية جيولوجية. وقد قدم تقريرا لمثل هذه التطبيقات المفيدة الهامة لمسرح تخريط مقاومة لأحواض ما بعد العصر الجليدى فى الدانمارك. كذلك استخدمت أيضا تطبيقات جسات الكهربية فى الإستكشاف الجيوحرارى.

يعتبر النوع الأفقى هو أبسط أنواع مساحة المقاومة النوعية، ويتم باستخدام مباعدة قطبية ثابتة، وفيه يتم التعرف نوعيا على الظواهر التحت سطحية عن الشاذات فى المقاومات النوعية الظاهرية على طول بروفيل. وتوقع قيمة المقاومة النوعية مقابل المسافة على طول البروفيل عند موقع منتصف مجموعة القطب. وقد أشير إلى مساحة من هذا النوع فى كولومبيا Columbia لاختيار قيمة المقاومة النوعية لتحديد مكان خزان مياه حجر جيرى يعترضه فالق كما فى شكل (6-42). وقد تم مقارنة البروفيلات الأفقية للمقاومة النوعية المقاسة فوق منخفض طفلة مع المنحنيات النظرية (كتلة صخرية شاخصة نصف كروية غائرة لها حد مستوى متساطح مع السطح الحر شكل (6-43).

وقد استخدمت المقاومة النوعية لحل مشكلة العمق الذى عنده يغزو الماء المالح الماء العذب فى خزانات المياه الجوفية. يبين شكل (6-44) أن نتائج المقاومة النوعية الظاهرية فى خزان الماء الجوفى للحجر الرملى تقل بسرعة مع زيادة مباعدة الأقطاب، والإنخفاض السريع المميز يظهر عندما تكون مباعدة الأقطاب أكثر من 50 متر يقابله عدم استمرارية فى المقاومة النوعية من 60 أوم متر إلى 10 أوم متر. وبالحفر اللاحق ظهر هذا الحد

الممثل لتلامس الماء العذب والماء المالح. أيضا مساحة المقاومة النوعية تجعل من الممكن رسم خريطة للجزء المفيد من الخزان المائى الجوفى بدقة تامة.

بئر

المقاومه الكهربيه (اوم متر)

1.5
2.2
4.0
8.6
4.0

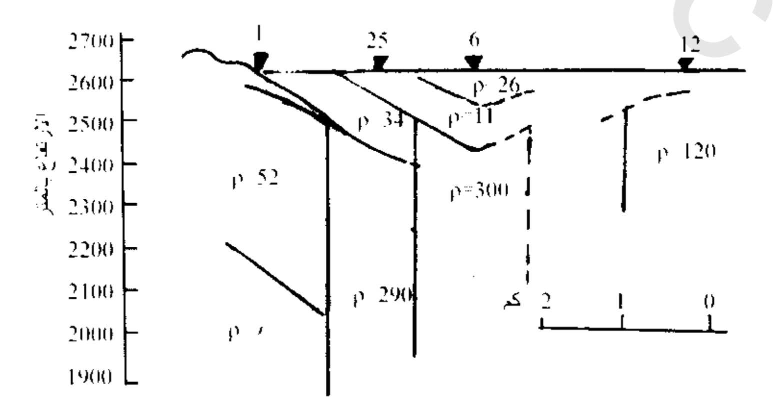
حد ملوحة المياه الجوفيه

بحر الشمال

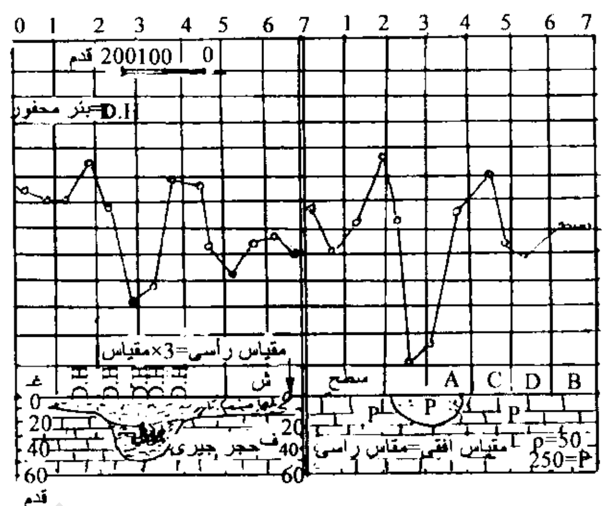
منطقة تلال رمليه

0 1 2 كم

شكل (6-41): مقاومة طبقة رملية بحدود مياه مالحة، كما حددت بواسطة قياسات جيوكهربية فى منطقة نوردهولاند Noord Holland ، الأرضى المنخفضة Nether Lands (فان دام وميولنكاب 1967 Van Dam & Meulenkame)



شكل (6-42): قطاع عرضى للمقاومة النوعية بوجوتا، كولمبيا (Columbia, Bogota)، لاختيار قيمة المقاومة النوعية لتحديد أماكن خزانات المياه ذات الفوالق (جنزبورج وآخرين Ginsburg et al 1974)



شكل (6-43): مقارنة لبروفيلات المقاومة النوعية المقاسة والنظرية الأفقية فوق منخفض مملوء لتشكيل وينر (أ) منحنى المجال المقاس مع القطاع الجيولوجى العرضى، (ب) المجال النظرى مع معطيات النقط المفروضة فقط عند مواقع القطب. قطر المنخفض 3a/2 القيمة المفروضة لـ $\Omega = \rho_1/\rho$ (كوك وآخرين Cook et al 1954)

13.4.6 تطبيقات وحالات سيرية Application and Case Histories:

1.13.4.6 إستقصاء المواقع الهندسية Engineering Site Investigations:

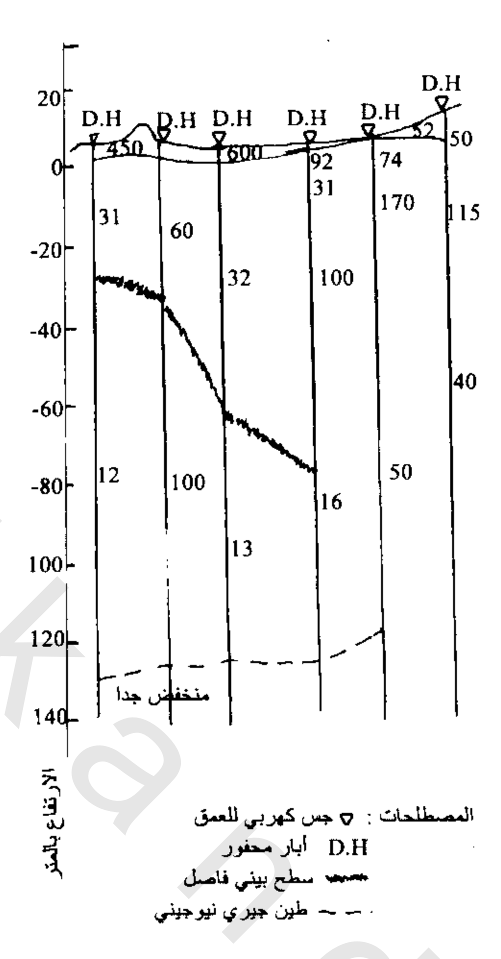
1.1.13.4.6 ظواهر الإنهيارات التحت سطحية Subsurface Collapse Features:

حدث إنهيار أرضى فى قرية شرق ديفون Devon كحفرة بقطر 5 متر، لذلك بدأت بعض المبانى فى التشققات وتكسرت طوف الأساس، كذلك أخليت المساكن لتجنب الأخطار.

لتحديد إمتداد المشكلة التحت سطحية تم دراسة مسح المقاومة الكهربية قبل بداية الحفر. لذلك تم عمل مجموعات أبعاد ثابتة بتشكيل وتر بأبعاد 10، 15، 20 متر. يوضح شكل (6-45) المقاومة الظاهرية كمسقط كنتورى للمقاومة النوعية الظاهرية. إتضح من الشكل ظهور الحفرة مع وجود عمق مملوء بالطين. لذلك حدث إنزلاق خلال شق عنق إلى كهفى تحتى سبب هبوط تحت أساسات المنازل وتصدع لخط الماء الرئيسى. عندما قل عمق الطين صعودا وزاد فجأة ثانيا، تبين ملأ الشقوق طينيا. وبالحفر على شذوذ المقاومة تأكد عمق الحجر الجيرى. أحدى الحفر اخترقت الكهف ولكن فشلت فى تحديد العمق والذى يبلغ حوالى 20 متر.

2.1.13.4.6 دفن صندوق مجارى Burial of Trunck sewer:

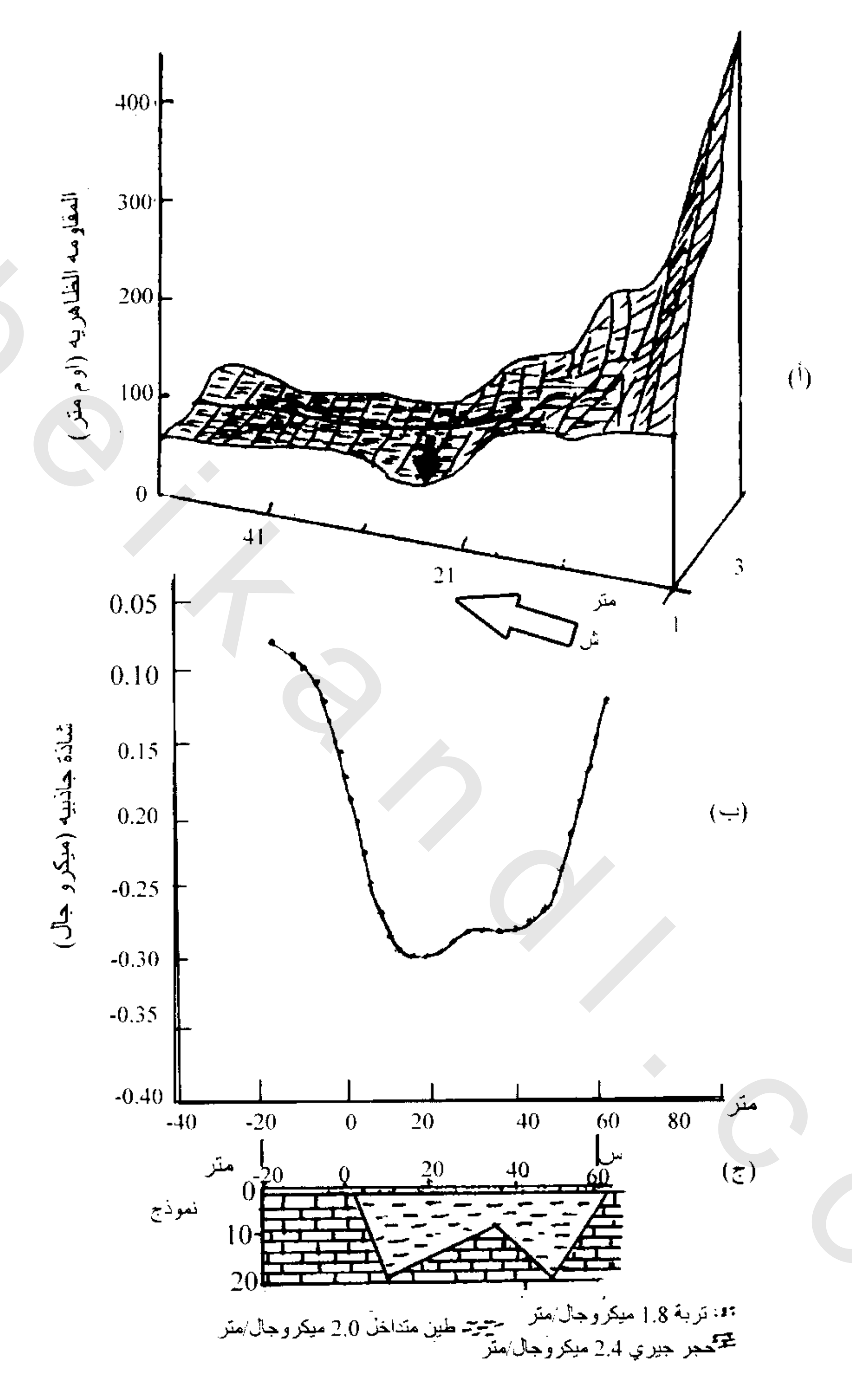
تمت خطة إقتراح أماكن صناديق مجارى جديدة فى جنوب ويلز Wales بواسطة استخدام طرق المقاومة وبسبب عدم إمكانية إستخدام اجهزة الحفر إستخدمت كلا من طريقتى الجس الرأسى والأبعاد الثابتة الجانبية على طول مسار منطقة الدراسة وقورنت نتائج الآبار المتاحة، تتكون المادة التى تم حفر المجارى خلالها من رواسب سطحية تعلو حجر تكوين فحمى رملى Coal Measures وحجر طينى. كان من المتوقع أن تكون مواد التكوين الفحمى كتلة قوية ولهذا صعب إختراقها، بينما مدت الصخور السطحية وطفلة التكوين الفحمى برأى أن حوائط الصناديق ستكون غير مستقرة. وباستخدام نتائج طريقة وينر بأبعاد أقطاب 10 متر وأبعاد ومحطات 10 متر اشارت إلى مواقع فيها قاعدة الصخر للحجر الرملى قريبة إلى السطح المطلوب للتفجير لحفر أماكن مجارى جديدة شكل (6-46) . أيضا استخدمت طريقة الإنكسار السيزمية لتأكيد النتائج.



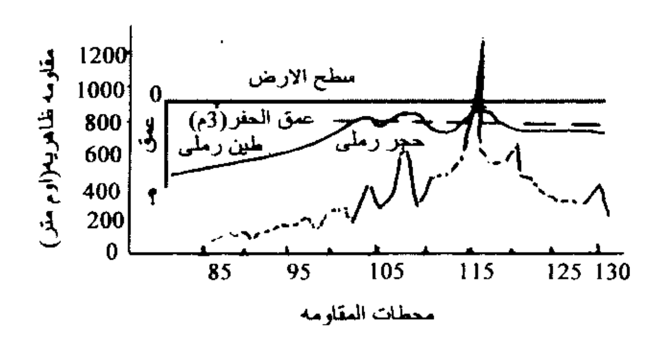
شكل (6-44): قطاع عرضى يبين تغير المقاومة النوعية عند السطح البينى الفاصل بين الماء العذب والماء الملحى. الأرقام تشير للمقاومات النوعية (جونزبورج وآخرين Ginsburg et al 1974)

3.1.13.4.6 موقع الأراضى الجمودية (دائمة التجمد) Location of Permafost:

وجود كتل أرضية جليدية وأراضى متجمدة تشير لمشاكل اعتبارية هندسية فى إنشاء المشروعات. أولا، وجود صعوبات فى أعمال الحفر وثانيا، تظهر مشاكل أساسية مع ذوبان مثل هذه التأثيرات الأرضية. لهذا يكون حيويا وفى مقدمة العمل تحديد حواف وعدسات الثلج وامتدادها ودرجة تجمد الأرض جيدا.



شكل (6-45): أ) مسقط ايزومترى للمقاومة الظاهرية حصل عليها بواسطة أبعاد عرضية ثابتة بأبعاد أقطاب 10 متر ، ب) نموذج لبروفيل ميكروجال المتوقع للنموذج الجيولوجى. فى ج) عمق الحجر الجيرى وضح فسر بواسطة الحفر (أوبلجر (Oppliger 1984



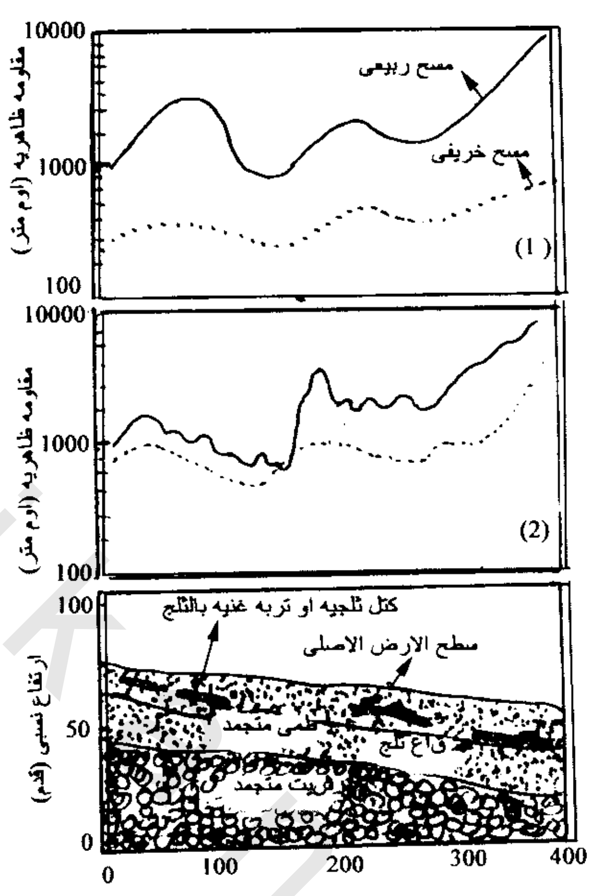
شكل (6-46): نتائج مسح إجتيازى لأبعاد متساوية على طول أساس مقترح لصندوق مجارى فى جنوب ويلز Wales ، مع تفسير للقطاع الجيولوجى (برنتك وماكدويل Bentice & McDowell 1976)

الثلج له مقاومة كهربية عالية للتيار المستمر فى مدى من 1 ميللى أوم متر إلى 120 ميللى أوم متر، ولهذا يكون هدف خاصية قياس مقاومة كهربية له. ويوضح شكل (6-47) اختلاف بروفيلات الجيوفيزياء عبر طريق مقترح قاطع بالقرب من فيربانكس، ألاسكا Fairbanks, Alaska. وترى النتائج التى تم الحصول عليها فى الربيع أكثر تغير وتحليل من تواجد طبقة نشطة من أرض مذابة، كما فى قياسات الخريف. تستخدم بنجاح طرق جيوفيزيائية أخرى فى هذه التطبيقات مثل مسوح بروفيلات الكهرومغنايطسية والجاذبية الدقيقة والرادار الأرضى.

2.13.4.6 مواقع الأساسات المدفونة Location of Buried Foundation:

فى جزء من محاولة مساحية، إستخدم تصور مقاومة كهربية تحت سطحية عند حوش سكة حديد غير مستخدم لكى يحدد أساسات مختفية تحتى خطى سكة حديدية. وقد نفذ مسح كهربى بجوار سياج سلسلة حلقات معدنية وخزان ديزل قديم، وعلى بعد حوالى 3 متر من مبنى موجود. هذا المسح أعطى فكرة عن وجود مبنين أوليين تحت حصى السكة الحديد غير المبنى الموجود.

الموقع كلية غير ملائم لبروفيل كهرومغناطيسى بسبب التركيبات الأرضية العلوية. وأيضا غير ملائم لإختراق الردار الأرضى بسبب خشونة الحصى وجهد توصيل الرماد الموجود على الموقع. وقد أمدت الطريقة الكهربية حل رأسى لنصف متر أو أكثر. رشحت نتائج المقاومة الظاهرية لإزالة شوشرة النتوءات الأرضية وظهرت كقطاع كاذب (غير حقيقى) شكل (6-48أ) والذى انقلب للعكس باستخدام تقنية إعادة اللفات. القطاع الكاذب النهائة للمقاومة الحقيقية المقابل للعمق يرى زيادة عامة فى المقاومة مع العمق شكل (6-48ب). فى خصوصية، أشير لمنطقتين لهما مقاومة عالية جدا أكبر من 12000 أوم متر على عمق 1 م والتى لهما قمم مستوية الشاذات.



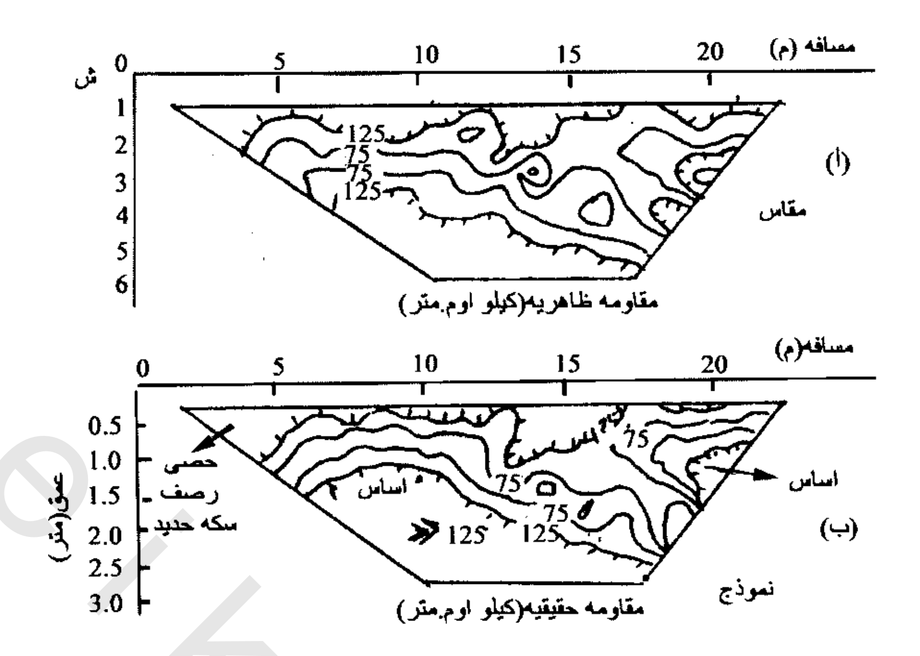
شكل (6-47): كتلة ثلجية وأرض متجمدة فى بروفيل تحت سطح لقطع طريق مقترح بالقرب من فيربانكس، ألاسكا Fairbanks, Alaska أيضا ترى نتائج مسح ربيعى وخريفى حصل عليها باستخدام مسح كهربى بأبعاد متساوية لجس (1) اجتيازى، (2) حث الكترومغناطيسى. تقدم كتلة الثلج الأرضية دلالة على إرتفاع المقاومة الظاهرية (أوستركامب وجيورك Osterkamb & Jurich 1980)

وفسرت هذه بسبب أساسات مدفونة. بمقارنة الشاذة الرئيسية (بين 6-11 متر على طول الصف) وجد أنها تتفق مع خط محيط لمبنى مزرعة على المسطح القديم. وعند حوالى 18 متر تكون رأى بوجود مبنى آخر قديم. ربما وجد هذا الموقع بعيد لعدة مترات عن المبنى الأول. بالمقارنة عن دلالتها على المسطحات يكون العمق للأساس فكرة معقولة كمجاورات بلاطات قرميدية لطوب أحمر موجودة على بعد أعماق مقارنة لعدة مترات.

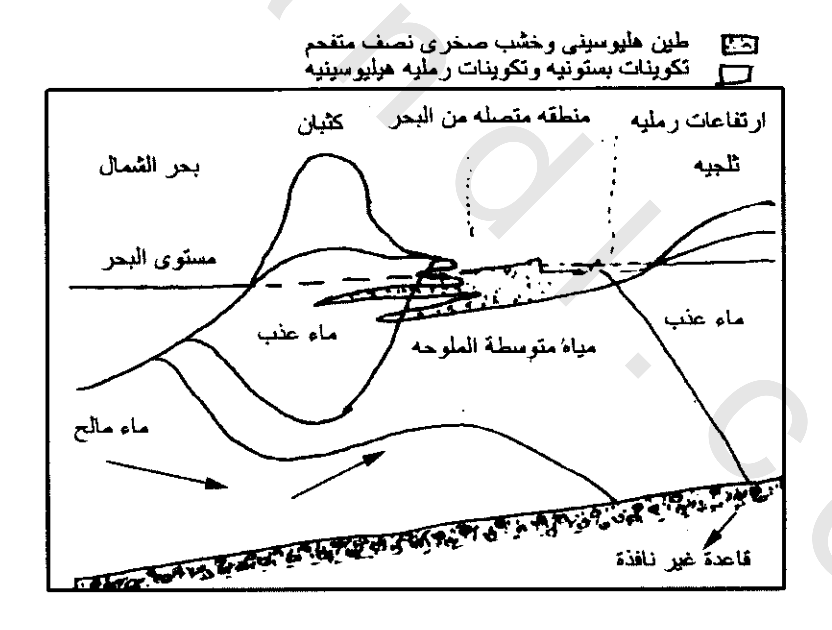
3.13.4.6 مسح المياه الجوفية ومدافن الزبالة Ground Water and Landfill Surveys:

1.3.13.4.6 إكتشاف المياه الجوفية المالحة Detection of Saline Groundwater:

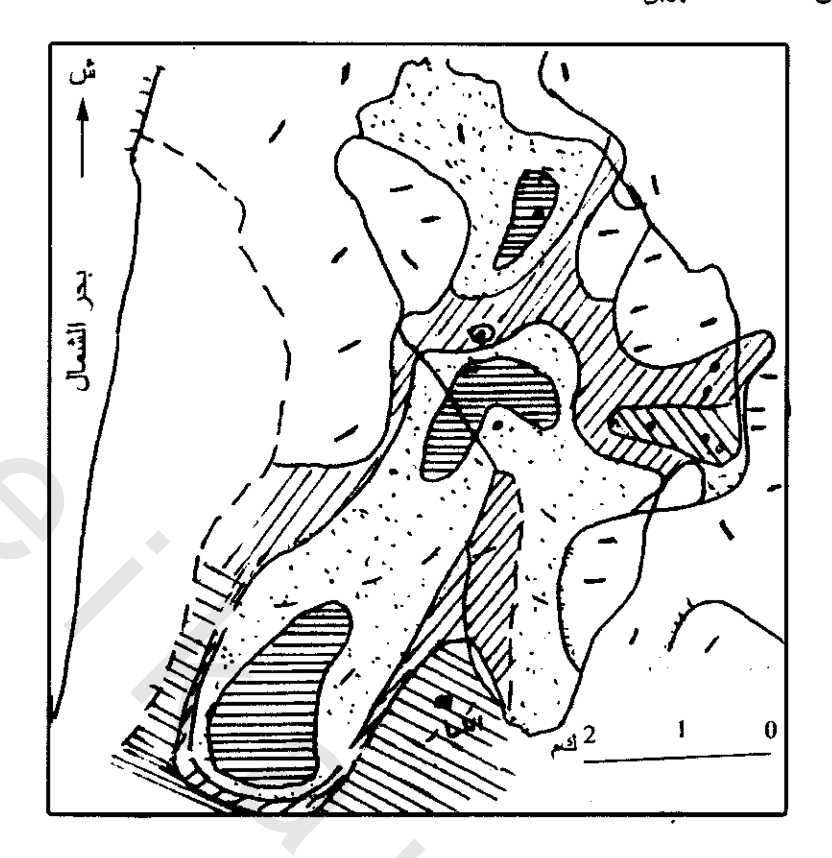
تم عمل برنامج مسح مقاومة كهربية شامل لتخريط مياه مالحة جوفية فى مساحة من هولندا (نذرلاند Netherlands) تحت أو عند المستوى الأساسى لسطح البحر. يوضح شكل (6-49) رسم لقطاع عرضى لطبيعة هيدرولوجية فى الجزء الغربى من هولندا. وقد أمد الجس الكهربى الرأسى متوسطات الحصول على معلومات حول التوزيع الرأسى لأجسام المياه العذبة والمياه الخضمية (متوسطة الملوحة) والمياه المالحة وامتداداتها المساحية شكل (6-50).



شكل (6-48): تصور قطاات كهربية غير حقيقية تحت سطحية. أ) بروفيل مقاومة ظاهرية، ب) بروفيل مقاومة حقيقية – عمق عبر الواح خرسانية مدفونة على عمق 1 متر (رينولدز وتيلور Reynolds & Taylor 1975)



شكل (6-49): شكل تخطيطى لقطاع هيدروجيولوجى عرضى للجزء الغربى من هولندا (فان دام وميلينكامب Van Damp & Menlankamp 1967



شكل (6-50): توزيع طبقة رمل بحدود مياه تحت أرضية مالحة فى شمال هولندا والتى خددت بواسطة جسات كهربية رأسية كثيرة (فان دام وآخرين Van Damp et la 1967)

من هذه المساحة وجدت جيوب مياه مالحة والتى يظن أنها متبقيات من قبل القرن الخامس عشر بعد تكون السد-البحرى الحالى المقطوع من البحر غرب الكمار Alkmaar. وقد وجد فوق عشرات من أمتار المياه المالحة (حوالى 30 متر) مياه عذبة مفصولة بواسطة طبقة طينية غير نافذة. أيضا قادت المطالب الكبيرة لرمل الإنشاءات لبناء طرق جديدة ومساكن إلى إستخراج رمال مع متبقيات من الحواجز الطينية. أكثر من هذا، فإن مقارنة نتائج نماذج الجسات الكهربية الرأسية مع معلومات الآبار عن كيميائية المياه الجوفية أدت لعلاقة بين محتويات الكلوريدات والمقاومة. تبعا لذلك من الممكن تحديد محتوى كلوريد المياه الجوفية من نتائج المقاومة.

2.3.13.4.6 إحتمالات المياه الأرضية Groundwater Potential:

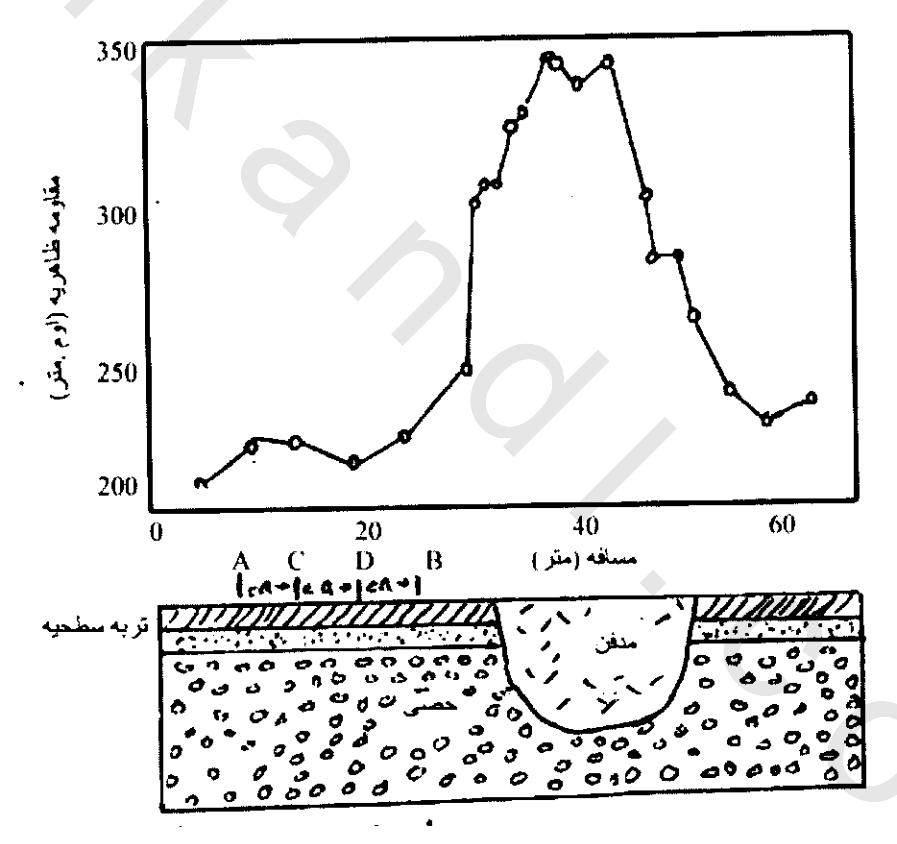
فى ولاية كانو Kano شمال نيجريا Nigeria، تمت عملية كبيرة لحفر آبار مياه ولكن 82% منها فشلت خاصة فى جنوب المنطقة. لذلك إستخدمت الطرق الجيوفيزيقية لتغطية معدل الفشل وإقلال التكاليف. وكانت طريقة الجس الكهربى الرأسى هى سائدة الإستخدام على مواقع مختارة تابعة لفحص هيدرولوجي وجيولوجى أولى. وقد أدى فحص نتائج الجسات الكهربية الرأسية مع معلومات آبار إلى تجميع قاعدة بيانات لتكوين نموذج مقاومة واحتمالات إمكانيات هيدروجيولوجية. وأصبح من الظاهر أن مناطق جغرافية لها أفضلية وأكثر سهولة لبيان مصادر المياه.

لذلك فإن إستخدام الجيوفيزياء يساعد على تعريف إحتمالات المياه الأرضية وتساعد فى برنامج تخطيط الحفر والذى يقلل من فشل الحفر بنسبة حوالى 15% حيث أن الحفر بدون دراسات جيوفيزية يتكلف حوالى عشرة مرات المسح الجيوفيزيقى.

3.3.13.4.6 مدافن الزبالة Landfills:

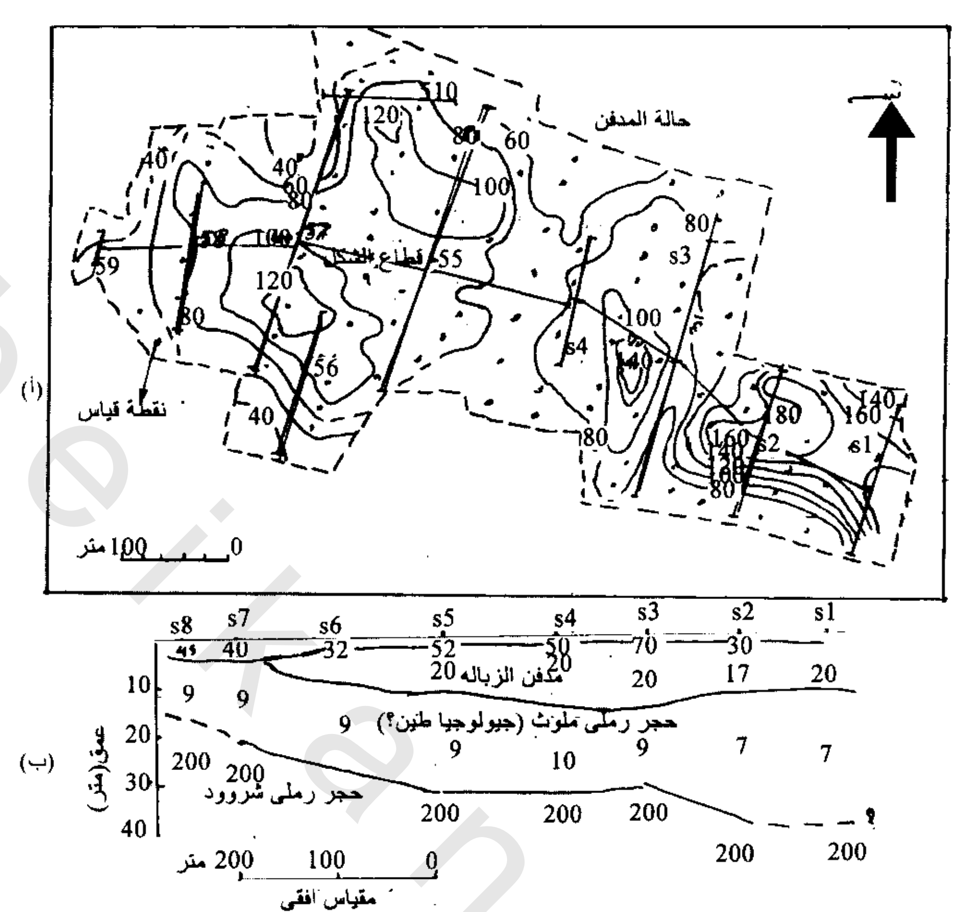
يوجد زيادة فى إستخدام مسح المقاومة الكهربية ذا تحليل عالى فى التفسيرات بالقرب من مدافن الزبالة، خاصة المقابلة لإحتمالات هجرة غسيلها. وقد نجح إستخدام التخيل التحت سطحى والجسات الكهربية فى ذلك.

لايوجد مثال لمدفن زبالة نموذجى، حيث أن بعضها شديد التوصيل والأخرى ذات مقاومة عالية بالنسبة للأوساط المحيطة بها. لذلك يجب الأخذ فى الإعتبار طرق جيوفيزيائية مختلفة والحرص فى التفسير وعدم تخمين مسئولية طريقة جيوفيزيائية خاصة لأى موقع معطى. مثال ذلك ماقام به (فان نوستراند وكوك (Van Nostrand & Cook 1966 بعمل بروفيل لمدفن مقاوم الكهربية شكل (6-51).



شكل (6-51): بروفيل مقاومة ظاهرية مرصود عبر مدفن مقاوم الكهربية باستخدام ترتيب ونر (فان نوستراند وكوك (Van Nostrand and Vook 1966

وضح باركر Barker 1990 نتائج جسات كهربية عبر مدفن موصل من الحجر الرملى الملوث شكل (6-52) وقد إستخدمت معادلة وينر فى هذا المثال.



شكل (6-52): أ) خطوط كنتورية لقيم معاملات توصيل عبر مدفن الزبالة. الخطوط المستمرة تمثل أماكن واتجاها جسات المقاومة (المسافة الكنتورية 20 /١ أوم.متر) ، ب) قطاع جيوكهربى عبر مدفن الزبالة موضوع على جسات فى (أ) (باركر Barker 1990)

إستخدمت جاسات شلمبرجير بواسطة منير-وليمز وآخرين Monier-Williams et al 1990 كجزء من مسح جيوفيزيائى كبير حول مدفن نوفوهورنندونت فى البرازيل Nove Horizote, Barazil. أشارت التحليلات الكمية وتمثيلها كلوحة مقاومة إلى معرفة مناطق بشاذات منخفضة المقاومة شكل (6-53). فسر ذلك على انه تلوث شجرى نبت فوق مدفن الزبالة. المظاهر المشاهدة فى الشكل تكون إتجاه موازى لجناح المدافن ولكن على بعد من 10-15 متر منها.

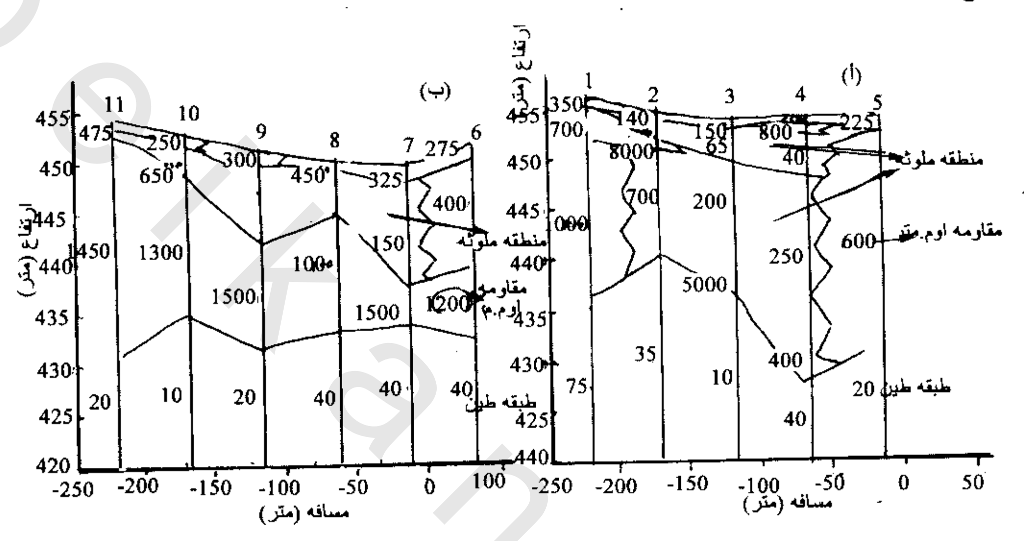
قطاعات التحت سطحية المتصورة عبر المقبرة يرى فى شكل (6-54). توضح اصتلاث لوحات نتائج المقاومة –العمق والتفسير الخطى. فى هذه الحالة، عمق وهندسة المدفن تكون معروفة عند الشروع فى العمل. منطقة إنخفاض المقاومة المصاحب للمدفن المشبه يمتد أكثر عمقا من المتوقع. هذا يفسر كدلالة على تسرب غسيل خلال قاعدة المدفن.

4.13.4.6 تطبيق الثلاجات Glaciological Applications:

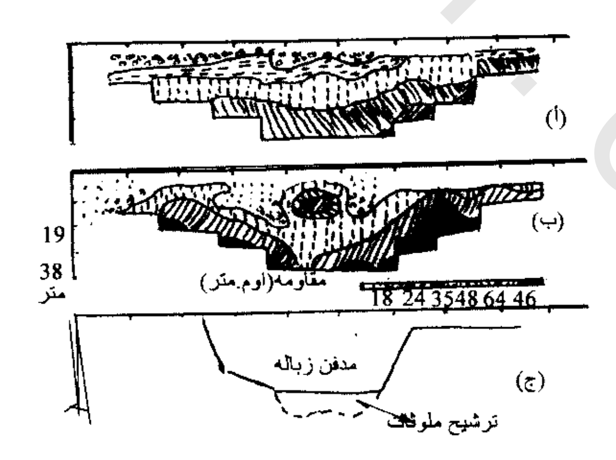
إستخدمت طرق المقاومة الكهربية منذ 1959 لتحديد سمك أنهار الثلج. حصل على القياسات أولا على ثلاجات أوروبا ذات الثلج المعتدل (ثلج عند نقطة ضغط ذوبانه)، ثم نمت قياسات مقاومة كهربية على ثلج قطبى (ثلج أسفل تماما نقطة ضغط ذوبانه) حيث وجد إنخفاض الشاذة بواسطة إرتفاع إلى ثلاثة رتب للقيمة مقارنة مع

قيم ثلج معتدل. بينما سلوك المقاومة الكهربية للثلج القطبى يكون الآن واضح كما فى شكل (6-55)، إلا أن سلوك الكهرباء للثلج المعتدلة مازال قليل الإيضاح. تطورت طرق التفسير لتعطى معلومات عن بروفيلات حرارة رأسية خلال كتل الثلج وأيهما أو لاتكون صفوف الثلج الطافية على ماء البحر مذابة أو متجمدة عند قاعدتها. شاركت كل هذه النتائج على فهم ميكانيكية الثلج. أما تركيبات كتل الثلج فما زالت تحت الدراسة.

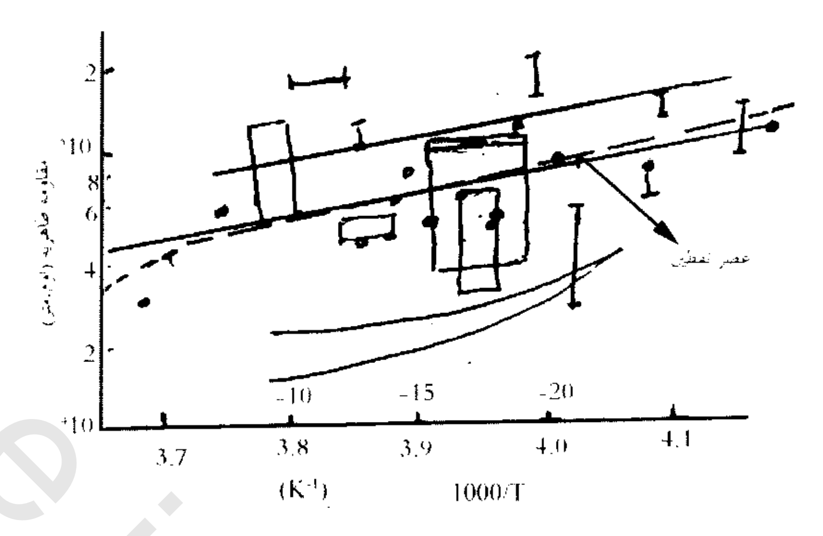
تم عمل سلسلة من الجسات الكهربية الراسية فى شبه جزيرة أنتاراتك Anatractic Paninsula شكل (56-6 . عدلت المنحنيات الحقلية للأخذ فى الإعتبار التأثيرات الحرارية ويوضح شكل (6-57) نتائج التفسيرات حيث اتفقت جيدا مع هذه المحددة مفردا.



شكل (6-53): قطاعين مقاومة متوازيين موضوعين على تفسيرات جسات شلمبرجير عند موقع مدافن زبالة نوفوهوريزون ت بالبرازيل Novo Horizonte, Brazil. أ) قريب من موقع مدفن الزبالة أكثر من (ب). مرجع المقاومة فوق قاعدة طينية عالية. فرضت المقاومة المنخفضة فى متوسط القطاعات بسبب تلوثها وليس بأن المنطقة الموصلة هى (ب) تظهر أكثر ضحالة منها فى (أ). مونير-وليامز وآخرين Monie-Williams et al 1990



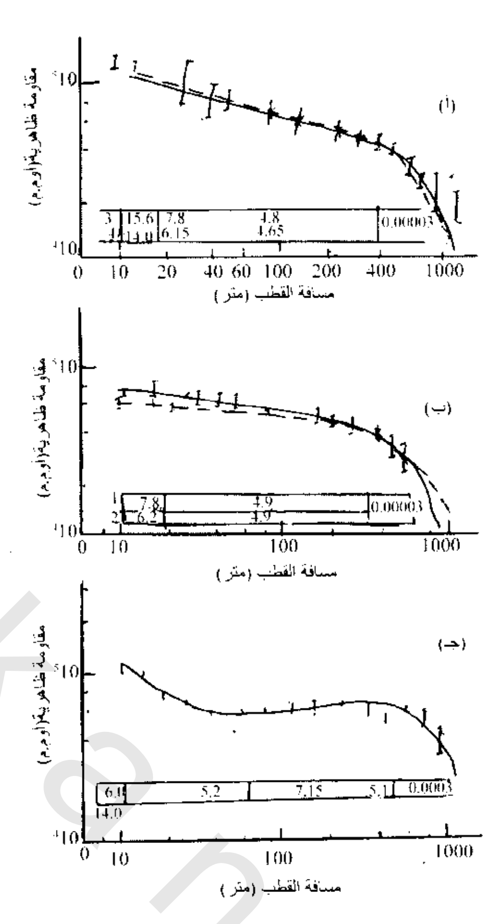
شكل (6-54): أ)(قطاع مقاومة ظاهرية ونر Wenner مقاس عبر مدفن زبالة مسافة الأقطاب 10 متر، ب) قطاع عمق مقاومة حصل عليه بعد 18 إعادة. ج) قطاع تقريبى عبر مدفن الزبالة موضوع على وجود معلومة (باركر Barker 1992)



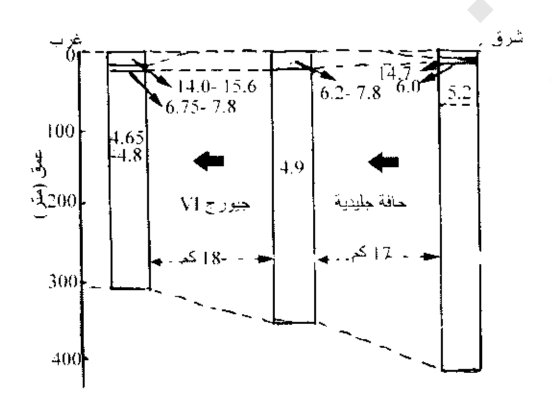
شكل (6-55): مقاومة ثلج كمعامل لدرجة الحرارة. والقيم الأساسية من جسات مقاومة أرضية للثلج عند 100متر أو عمق نقطت مع تقدير عير موقن مقابل طبقة الحرارة المقيمة من اختلاف واسع للمصدر. القياسات المعملية على عينات ثلجية اسطوانية اختيرت عبر مدى من درجات الحرارة (الخطوط المستمرة). تراجع خط النتائج أعطى بواسطة خط مقطع. بإعطاءه درجة حرارة معينة يمكن اكتشاف الثلج خلال معامل 2 أو أكثر (رينولد وبارن Reynolds and Paren 1984

تم حفر عدة آبار ببعث ماء ساخن خلال ثلاجة محلية (جربنجلتسشر Grubenglestcher) بسويسرا Switzerland. بإستخدام أقطاب أرضية متحركة خلف خطم (خرطوم) الثلاجة وأمكن إكتشاف النقطة التى عندها كسرت رأس الحفر خلال ثلج عالى الكثافة إلى طبقة تحت سطحية أكثر توصيلا شكل (6-58) تبعا لذلك، أمكن تحديد سمك الثلج أكثر دقة من إستخدام الحفر أو صدى موجات الراديو السطحية. من الصعب معرفة حمل خطام الثلج عند قاعدة الثلاجة عند تمييزها بواسطة معدل الحفر الحرارى فقط. وجد أن معدل قياسات العمق بواسطة صدى موجات الراديو تكون مضبوطة خلال 5% ولكن عامة أقل من تقييم العمق. زرعت أقطاب عند فاصل طبقة الثلج عند نهاية كل من 14 بئر وأخذت جسات كهربية معيارية عميقة كأن الثلاجات غير موجودة.

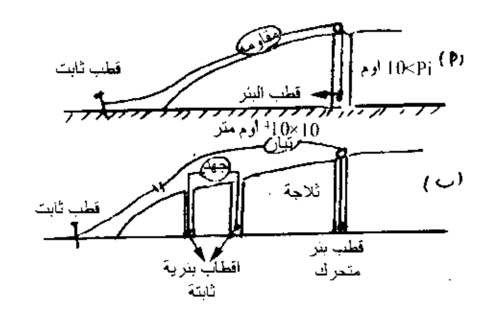
إكتشف بعد ذلك أن ثلاجات جروبنجلتشر Grabenglescher موجودة تحت أسفل 100 متر من الرسوبيات غير المتماسكة. وقد ذكر سابقا أن الثلاجة تكون فى تماس مباشر مع صخور القاعدة. هذا العمل وضح انه بواسطة إستخدام أقطاب فوق الثلاجة، يمكن الحصول على معلومات جديدة حول طبيعة المواد أسفل الثلاجة.ويعتبر هذا مثال نافع عند محاولة فهم نظام هيدروجيولوجية ماتحت الثلاجة.



شكل (6-56): منحنيات جسات مقاومة ظاهرية حصل عليها باستخدام طريقة شلمبرجير عند ثلاث مواقع على طول خط انسياب ثلاجة على حافة ثلج جيورج George VI وانتاركتكا Antarctica فى أ، ب جسات ثمانية عند كل موقع تحت كل منحنى نموذج تفسيرى فى تعبيرات لمقاومة حقيقية مقابلة للعمق خلال لوح ثلجى. امتداد القيم المنخفضة للمقاومة أسفل اللوح الثلجى تدل على طفوه على ماء البحر نموذج المقاومات تعطى فى وحدات 10 كيلو أوم.متر (رينولد، بارن Reynolds & Parn 1984)



شكل (6-57): تركيب مقاومة كهربية خلال حافة جليدية جيورج George VI على طول خط إنسياب، وحدات المقاومة 10 كيلو أوم.م، ورسمت بمقابلة العمق خلال لوح ثلجى (رينولدز & بارن Reynolds and Paren 1984)



شكل (6-58): تصفيف أقطاب تستخدم لتحديد المكان المضبوط لطبقة الثلاجة (أ) ولجسات مقاومة طبقات الثلاجة (ب) (هابرلى و فيش Haeberli & Fisch 1984)

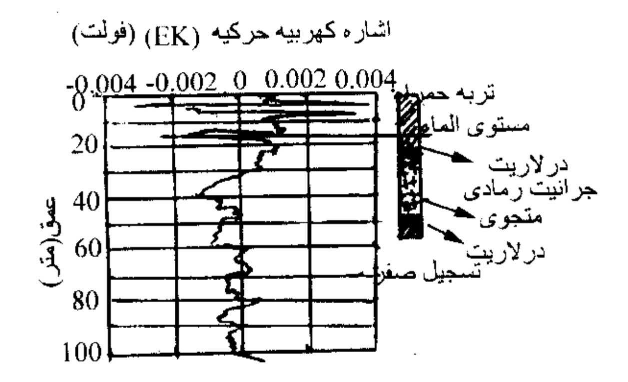
5.13.4.6 مسح الكهربية الحركية فى مسوح المياه الأرضية

Electrokinetic (EK) Surveying in Groundwater Surveys:

توصل بعض الباحثين السابقين إلى أنه عندما تسير الموجات السيزمية خلال وسط مشبع جزئيا أوكليا، فإن تاثير النبضات السيزمية تضغط على الصخور مسببة حركة سائل المسامات (الفراغات)، وهذه تولد إشارات كهربية أو كهربية حركية والتى يمكن إكتشافها باستخدام أقطاب تغرس على سطح الأرض. وقد فسر بعضهم دراسة منهجية لازدواجية سيزمولكترك Seismoelectric بإستخدام تفجيرات عند أعماق مختلفة. كذلك وضحوا أن تحول الطاقة السيزمية إلى طاقة كهرومغناطيسية عند مستوى الأرضى يمكن إكتشافها بإستخدام هوائيات سطحية.

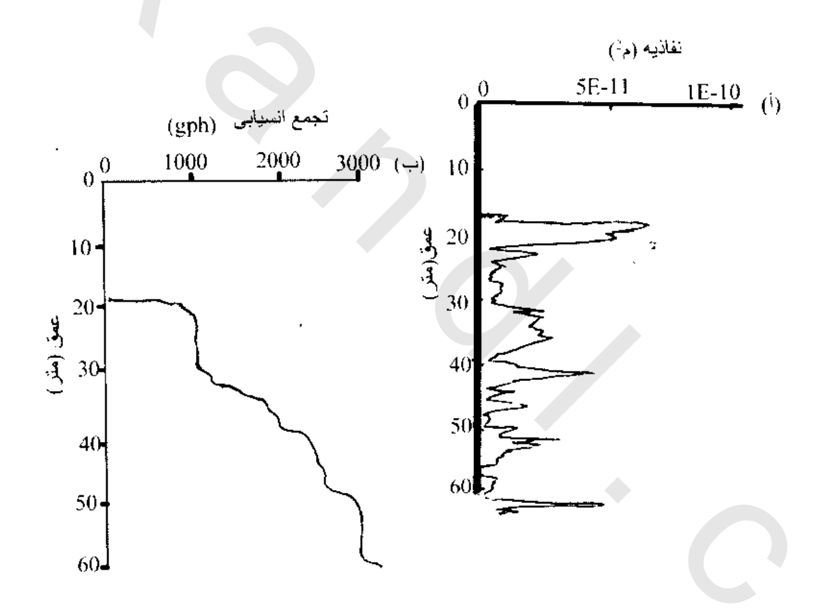
تولد منطقة تشبع الرشح جزئيا إشارات ممزية للكهربية الشعرية electrocapillary وذلك بسبب حركة فواصل الهواء/الماء فى أعناق المسام، وبسبب إزاحة الفقاقيع خلال سائل المسام إشارات إرتحال الجزيئات المعلقة فى مجال كهربى electrophoretic .ربما تولد المستودعات المشبعة كلية بالماء إشارات كهربية حركية electrokientic بواسطة إزاحة لسائل مفرد (ماء أو ماء شديد الملوحة) عندما يحفز بواسطة مرور موجات سيزمية. يؤدى تمييز الإختلاف بين نوعى الإشارات إلى تحديد عمق مستوى الماء الأرضى فى مستودعات مائية غير حبيسة unconfined aquifers. تتميز الصخور الجافة أو صخور القاعدة أو أى صخور غير حاوية للماء بواسطة نقص لأى إشارة.

برغم أن الطريقة توصف هنا تحت الطرق الكهربية ، لكنها ليست تقنية كهربية فعالة. لأنها طريقة سيزمية فقط. حديثا تطورت هذه التقنية فى الولايات المتحدة الأمريكية تحت إسم التنقيب الإلكتروسيزمى، ويوضح شكل (6-59) مثال لذلك. تم تحديد العمق باستخدام سرعة طوليه .P.W 1250 م/ث، ويلاحظ أن الكهربية الحركية تتجاوب عند أوحول مستوى الماء الأرضى، تظهر إشارات الكهربية الشعرية القوية من منطقة الرشح فوق مستوى الماء بإشارات كهروحركية مشتقة من المنطقة المشبعة من 17-50 متر عند الأعماق الكبيرة، توجد إستجابة لإشارات قليلة جدا. يرى شكل (6-60) تناسب للعلاقة بين النفاذية والعمق وكذلك الإنسياب التجمعى مع العمق.



شكل (6-59): إشارة كهربية حركية نموذجية عند موقع بئر فى زمباوبى Zimbabway

تدل مقارنة المتوقع ومعدل الإنسياب الحقيقى لماء البئر على أن قيم الكرهبية الحركية المشتقة تمد درلة معقولة (معتدلة) لمعدل إنسياب شبه حقيقى. ربما تكون هذه الطريقة فى شكلها الحديث فى بدايتها فقط. إذا عضدها النجاح للمحاولات الأولية، عندئذ توعد هذه الطريقة كأداة نافعة جدا فى البحث الهيدروجيولوجى.



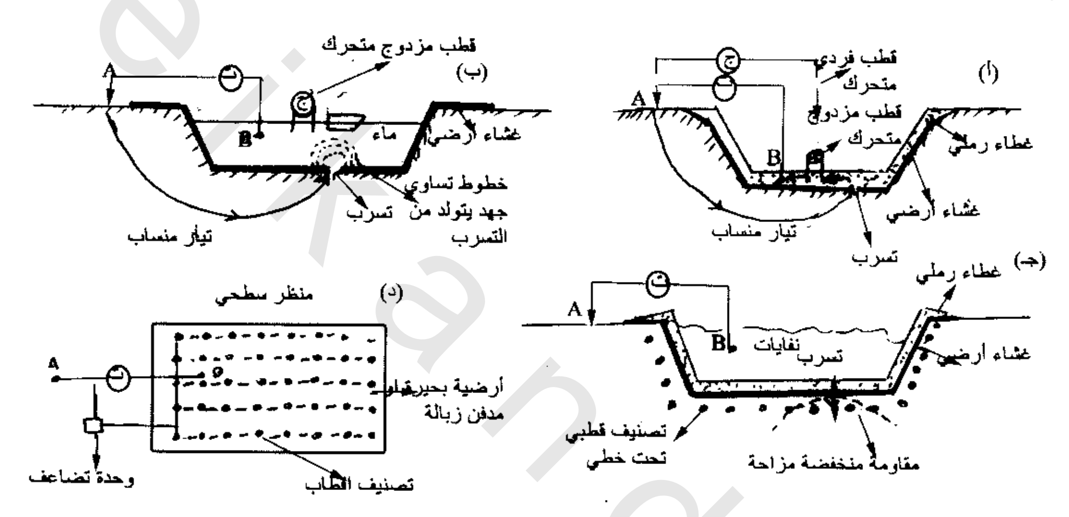
شكل (6-60): أ) بروفيل نفاذية-عمق، ب) إنسياب متوقع مشتق من نتائج الكهربية الحركية عند موقع بئر فى زمبابوى Zambabwe

6.13.4.6 إكتشاف تسرب خلال أغشية صناعية :Leak Detection Through Artificial Membranes

زادت أهمية إكتشاف تسربات (الرشح) خلال تبطين المستنقعات ومدافن الزبالة فى السنين القليلة الأخيرة. وحيث أن المقصود من تبطين مواقع تصريف النفايات تجنب التلوث منها، فربما تؤدى تمزقات أو كسور صغيرة فى التبطين تسربات كبيرة للملوثات. وقد تطورت طرق مختلفة لمحاولة تحديد الثقوب فى التبطين لكى ترمم أو تتخذ تدابير لعلاج التلوث.

يكون الأساس العام خلف كل الطرق هو تبطين صناعي بعمل أغشية أرضية عالية الكثافة من مادة البوليثلين Polyethylene بحيث يكون حاجز عالى المقاومة طالما لايوجد به ثقوب، وتكون مقاومة الغشاء الأرضى البوليثيليني أكبر من 10^7 أوم.متر.

ويبين الشكل التخطيطى (6-61أ) مرور التيار الكهربى بين قطبين، أحدهما يكون خارج الغشاء ولكن فى تماس مع مياه ارضية محلية، والآخر يكون فى داخل النفايات أو فى طبقة رملية مبللة تعلو مباشرة الغشاء الأرضى. ويمكن إستخدام نفس النظام فى مستنقعات مملوءة بالماء شكل (6-61ب) حيث يستخدم إما زوج قطبى الجهد أو قطب جهد مفرد متجول للإكتشاف شذوذ الجهد الكهربى. يحدث هذا حيث يكون التيار الكهربى قادر على الإختراق خلال الثقوب فى الغشاء الأرضى. وقد تم بنجاح تحديد تمزقات أقل من 1 ميلليمتر عند عمود 0.5 متر تحت طبقات رملية.



شكل (6-61): قطاعات أنظمة إكتشاف تسرب فى مخازن نفايات وبحيرات بأنبيب تغليف قاعدية الغشاء أرضى صناعى التخطيط المسحى فى حالة :أ) أنبوب التغليف القاعى مغطى بطبقة رقيقة (0.5 متر) من الرمل وبنتونيت، ب) أنبوبة التغليف مملوءة بالماء. ج) نظام اكتشاف تسرب تحت خط الأنبوب تستخدم باستمرار لإنشاء صفوف الأقطاب تخطيط سطحى نموجى الموضع فى (د)

حديثا فإن مدافن الملوثات تبنى تحت نظام كشفى مستمر، تتصل صفوف الأقطاب بواسطة كابلات عازلة والتى تدفن على عمق حوالى 1 متر أسفل الغشاء الأرضى. عند وقت الإنشاء تعمل قياسات ضبطيه للثقوب فى التبطين لكى يجهز قبل تصريف أى نفايات شكل (6-61ج، د). تسمح هذه التقنية بقياس جهد الشاذة تحت التبطين بدلا من قياسها فوق التبطين كحالات (6-61أ، ب). بالإضافة لذلك يمكن الحصول على قطاعات المقاومة مشابهة تقريبا للقطاعات الحقيقية بواسطة إستخدام صفوف تحت التبطين كتصور للصفوف التحت سطحية بدون إستخدام صفوف أقطاب مزدوجة كتيارات السطحية. عند إنشاء موقع تصريف يتأكد أنه لايوجد تسربات بواسطة عمل قياسات خط القاعدة.

14.4.6 جسات الجيوكهربية العميقة Geoelectrical Deep Sounding:

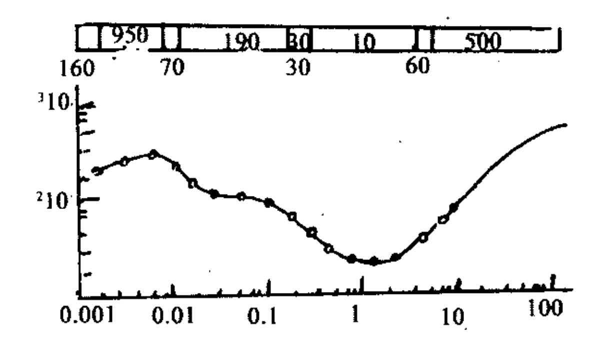
فى الطريقة العادية لجس المقاومة يقاس هبوط الجهد على السطح المتسبب بواسطة تطبيق التيار الخارجى. ويعتمد العمق المختار المطلوب الحصول عليه من هذه الطريقة أساسا على أبعاد أقطاب التيار. ولكى يحصل على معلومات للعمق لبعض آلاف من التيار بهذه الطريقة يتطلب خطوط تيار طويلة غير عملية وجزء من

امدادة قدرة كبيرة. ولكن عمليا، فإن حدود إستخدام الطريقة العادية للجسات تصل غالبا لعمق بضع مئات من الأمتار.

فى الوقت الحاضر ، يعطى أغلب التنقيب الكهربى العميق (خاصة فى روسيا) بواسطة جسات القطب المزدوج. عندما تكون المطالبة لعمق 300-500 متر فإن المسافة بين الأقطاب المزدوجة تكون من 1000-1500 متر. وعندما تكون المسافة بينهم 10-12 كم فمن الممكن الإستدلال عن عمق صخور القاعدة الذى يتراوح من 3- 2.5 كم. والميزة الأخرى الكبيرة لطريقة القطب المزدوج هى إمكانية الجس على منحنى البروفيل، بينما الجس التقليدى فإن أقطاب التيار والجهد يجب أن تقع على خط مستقيم. أيضا فى المناطق الصعبة (مثل الغابات والمستنقعات) لايمكن الإحتفاظ ببروفيل مستقيم لمسافات طويلة، وكذلك ليس من الضرورى لمراكز الأقطاب المزدوجة أن تقع على نفس الخط المستقيم. وتمثل الأمثلة الآتية حساب جيوكهربية عميقة.

1.14.4.6 جسة عميقة فى حوض الراين Deep Sounding in the Rline Grabens

تم عمل جسه جيوكهربية عميقة بمسافة أقطاب إنبعاث للتيار تبلغ 150 كم، على طول وهى بين كارلسرو وساخنجن Karlsruhe and Sackingen كجزء من دراسة برنامج مشروع الستار العلوى. تمت العملية بقواعد ترتيبات شلمبرجير مع تسجيل مركز متوسط هو طريق خط الجهد العالى بين كارلسرو-ساخنجررز يرى شكل (6-62) منحنى الجس مع إمكانية نموذج تفسير، وكذلك توزيع المقاومة فى الجزء العلوى من الشكل، كما أن الشكل يعطى تفسير واضح لتوصيلية جيدة للحوض المملوء (أقل من 10 أوم. متر). هذه التوصيلية الجيدة، والتى كانت متوقعة، تحجب تأثيرات تحت الأرض العميقة بطريقة حاسمة ولهذا تمنع أى معلومات مفسرة يمكن الحصول عليها خلال التغيرات فى صخور القاعدة.



شكل (6-62): مقارنة منحنى مقاومة مقاسة (الخط المتصل) مع المنحنى النظرى (دوائر مفتوحة) فى حوض الراين Rhine Graben ، يرى الجزء العلوى من الشكل نموذج تفسير للمقاومة الحقيقية

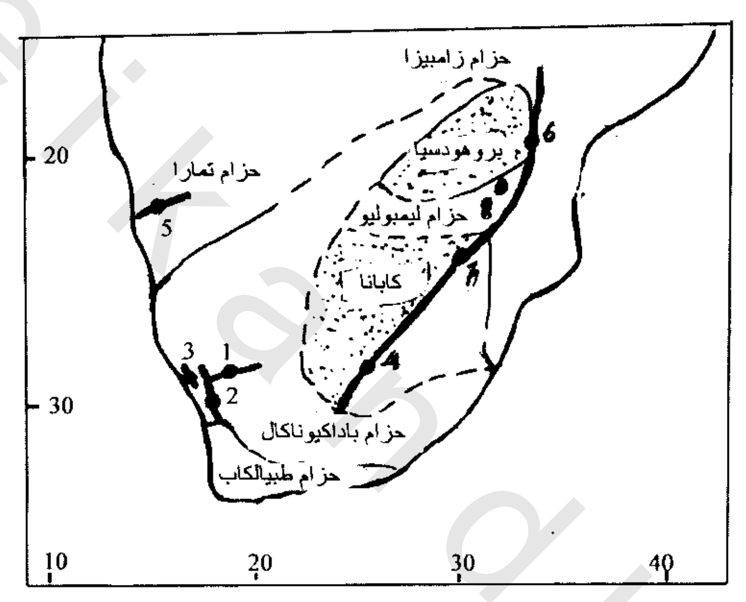
2.14.4.6 جسات فوق عميقة فى جنوب أفريقيا Ultradeep Sounding in Southern Africa:

أعطى هذا المثال نتائج لجسات كهربية فوق عميقة تمت فى جنوب أفريقيا لأبعاد أقطاب لحوالى 1000 كم. يتكون الجزء القديم لقشرة جنوب أفريقيا من رواسخ* والتى تحاط بواسطة أحزمة متحركة لعصور مختلفة ويعبر عن قدم هذه الرواسخ (أكثر من 2600 مليون سنة) نسبيا بقشرة مستقرة ومحتفظة بتكوين جرانينويد سائد والذى

* كتل صخرية راسخة تحدث بينها الطيات المقعرة.

استمر بعد أحداث تكتونية منذ عصر الأركيان Archaen. فى المقابل تعرضت الأحزمة المتحركة لتشوه شديد، شقوق، وتحول صخرى كبير شكل (6-63) .

الظاهرة المدهشة لنتائج الجسات العميقة تمت لجزء كبير من القشرة العلوية (فى حزام الحركة) وداخل القشرة السفلية إلى عمق 25-30 كم أن لها فقط مقاومة متوسطة، هذا الوضع يدل على وجود الماء فى هذه المناطق (منطقة 2) شكل (6-63)، الطبقة الموصلة السفلية (منطقة 3) لها إنتشار بواسطة التميؤ، وهذا يعلل خواص السربنتين الكهربية عندما يكون صخور ستار مميأه. وتدل النتائج الكهربية على وجود خلاف مهم فى إنتشار المسامية بين الرواسخ (مقاومة عالية) والأحزمة المتحركة (متوسطة المقاومة). الإتجاه العام لإنسياب الحرارة تكون كبيرة عبر الأحزمة المتحركة وتقود هذه الأفضلية الماء فى هذه المناطق.



شكل (6-63): وحدة تكتونية كبيرة لجنوب أفريقيا تدل المناطق المنقطة على الرواسخ، والأحزمة المتحركة معروفة بأسمائها. يرى مواقع الجسات العميقة بواسطة الأرقام. تدل الخطوط الثقيلة على تباعد كبير لأقطاب التيار (فان ريجل Van Zijil 1977

15.4.6 إستخدام الطرق الكهربية للإستكشاف البترولى

Using Electrical Methods for Petroleum Exploration:

أختبرت هذه الطرق مؤخرا فى الإستكشاف البترولى. وقد إستعمل بعض منها بصورة شاملة لهذا الغرض فى روسيا، حيث أن تباين المقاومة النوعية بين الملح والمواد الرسوبية يجعل من السهل تماما إكتشاف القباب الملحية الضحلة.

قابلية تطبيق الإستكشاف الكهربى للتنقيب عن البترول محدودة لوجود تباينات دليلية ضعيفة فى الخواص الكهربية للصخور الرسوبية التى تعطى معلومات الخواص الصخرية والتركيبية المفيدة فى البحث عن الهيدروكربونات. فمثلا يكون للصخور الجيرية الكتلية والأنهيدريت شاذات لمقاومات نوعية عالية، ولكن شواذ المقاومة النوعية للأبعاد (السمك على وجه الخصوص) التى تتركب من هذه المواد غالبا ما تكون صغيرة بالمقارنة للأعماق ذات الأهمية فى الإستكشاف البترولى ولذلك يكون تخريطها بالوسائل الكهربية غير مشجع.

16.4.6 تحديد عمق صخور القاعدة Basement Depth Determination:

فى الغالب يكون للقطاع الرسوبى مدى مقاومات نوعية أصغر بكثير من المدى الخاص بصخور القاعدة، وبذلك يمكن عمل نماذج للأحواض الرسوبية على هيئة طبقة ذات مقاومة نوعية منخفضة (العمود الرسوبى) والتى تأتى فوق طبقة تحتيه لها مقاومة نوعية أعلى بكثير (صخور القاعدة). وعلى ذلك، فإن أى أسلوب فنى للاستكشاف الكهربى يستطيع أن يستجيب لتغيرات المقاومة النوعية عند قاعدة القطاع الرسوبى، والتى تعطى بالتالى معلومات عن عمق صخور القاعدة. فى المناطق من العالم التى تستخدم هذه الطريقة، تكون الخطوة الأولى فى أسلوب الإستكشاف هى تحديد وجود حوض رسوبى من عدمه، وفى حالة وجوده يجب تحديد شكله الهندسى التقريبى.

فى روسيا حيث تستخدم هذه الطريقة، حددت بعض الأحواض الرسوبية، حيث يستعمل أسلوبان من الساليب الفنية الكهربية على نطاق شامل لتحديد الوجود، العمق التقريبى، والحدود لمناطق أحواض جديدة، الأسلوب الأول هو طريقة ذات القطبين Dipole method. والآخر هو التيار الأرضى المغناطيسى Telluric current.

1.16.4.6 طريقة ثنائية القطب Dipole Method:

فى هذه الطريقة يدخل تيار كهربى كبير للأرض من خلال قطبين فى صورة موجه مربعة، ثم يقفل المفتاح بين المولد وقطبى التيار لمدة دقيقة واحدة. بذلك ينتج جهد مصاحب لنبضة التيار والتى تلتقط بوساطة كاشف (قطبى كشف) على بعد 20 كم، لاتشابه الإشارة المستقبلة موجه مربعة، ولكن سوف تكون مشوهه الشكل ومنتشرة الزمن. تعتمد طبيعية التشوه على توزيع المقاومة النوعية التحت سطحية ويزداد عمق الإختراق للإشارة مع زيادة تباعد المسافة بين المصدر والمستقبل (بفرض أن شدة التيار تكون كافية لتسمح بالإختراق اللازم).

بعد ذلك، تحسب الأشكال الموجبية لتغيرات المقاومة النوعية مع العمق، ومن الممكن عمل كتالوج للأشكال الموجيه لمدى واسع للتشكيل الطباقى. يمكن تحديد التركيب التحت سطحى المقابل للمقاومة النوعية بمطابقة شكل الموجه المرصودة مع تلك الموجودة بالكتالوج والتى تعطى التوافق الأحسن. إذا وجدت طبقة فردية ذات مقاومة نوعية قليلة فوق طبقة تحت سطحية ذات مقاومة نوعية مرتفعة فإن نموذج التناظر يؤدى لإفتراض بأن سمك الطبقة العلوية (فيما لو لم توجد دلائل جيولوجيه) يمثل العمق للقطاع الرسوبى على طول البروفيل بين المصدر والمستقبل.

أشار كيلر Keller 1968 لمسوحات المقاومة النوعية المنفذة على نطاق محلى تجعل من الممكن رسم خرائط الأوساط القديمة وتعطى أدلة للتاريخ الجيولوجى لمنطقة بترولية يمكن الحصول عليها بالحفر الطباقى فقط. بسبب التحليل المقيد لقياسات المقاومة النوعية عند الأعماق المتضمنة، فإنه من المحتمل أن تكون التغيرات الكبيرة فقط للمقاومة النوعية المؤثرة على مسافة 1000 قدم أو أكثر من القطاع الرسوبى له دلالة جيدة عند تحليلها. يفيد مثل هذا النوع من المعلومات كثيرا فى البحث عن البترول المحتجز فى المصائد الطباقية. على سبيل المثال، أمكن بهذه التأثيرات المحيطية إكتشاف سمك كبير لقطاع من سحنات الرمل السائدة إلى سحنات طفلة سائدة. أيضا وضح كيلر Keller بوجود خط إتصال مفصلى ترسيبى رئيسى فى حوض دينفر-جيولسبرج

Denver-Gulesberg بكلورادو الشرقية من النوع الذى أمكن رسمه فى الخرائط بالأساليب الفنية الكهربية السطحية بدون حفر آبار.

2.16.4.6 طريقة التيار الأرضى المغناطيسى Telluric Current Method:

لاتحتاج هذه الطريقة لمصدر طاقه خارجي والترددات منخفضة بدرجة كافية لإعطاء الإختراق المطلوب (توجد غالبا فى المجالات المترددة الطبيعية). إستخدمت هذه الطريقة لرسم خرائط التركيبات فى القطاع الرسوبى التى لايمكن أن ترصد فى الحال بواسطة التقنيات الأخرى المستخدمة فى التنقيب عن البترول. فمثلا، فى هضبة نهر كولومبيا فى شمال غرب الباسفيك، فإن وجود الحمم البركانية عند أو بالقرب من السطح تجعل من غير الممكن الحصول على معلومات عن تشكيل الرسوبيات السفلية بوساطة الطرق السيزمية، الجاذبية، المغناطيسية.

عامة، فإن الإستعمال الأكثر إنتشارا للأساليب الفنية للاستكشاف الكهربى فى التنقيب عن البترول هى التسجيلات الكهربية. فى بعض المناطق، فإن تسجيلات الآبار تقوم بين الجيولوجيا والجيوفيزياء وهندسة البترول، أغلب تطور هذه التقنية تنفذ فى الولايات المتحدة بمن يعتبرون أنفسهم مهندسى بترول أو جيولوجيين أكثر من جيوفيزيائيين. من ناحية أخرى، فى روسيا تصنف هذه التقنية كجيوفيزياء تطبيقية (جيوفيزياء صناعية).

5.6 طريقة الإستقطاب المستحث :Induced Polarization Method (IP)

إكتشفت ظاهرة الإستقطاب المستحث واكتسبت إنتشارا فى منتصف القرن العشرين كطريقة جيوفيزيقية. تستعمل الآن بتوسع فى البحث عن خامات الكريتيدات الموزعة والمياه الجوفيه ذات الإمتداد الطفيف.

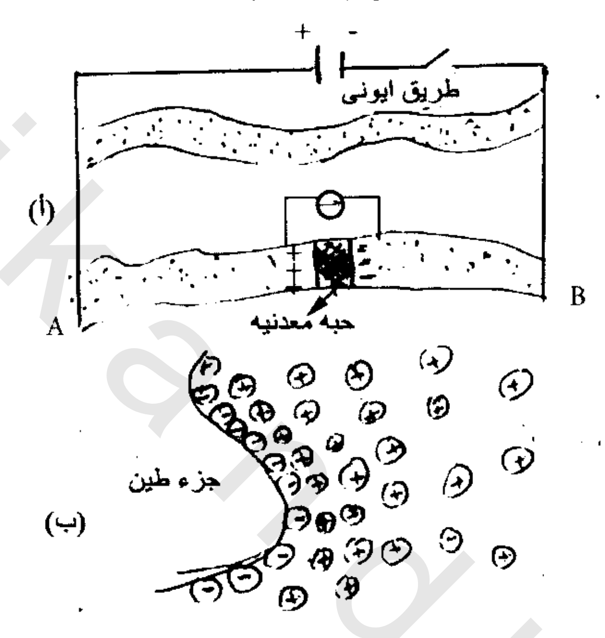
1.5.6 أساسيات الطريقة Principles of Method:

حالة الكهربية فى معظم الصخور تكون أساسا الكتروليتيه (محلول كهربى) بواسطة إنتقال الأيونات خلال الماء الموجود فى المسام. ربما، عند مرور التيار الكهربى خلال صخور حاوية معادن فلزية، فإن أيونات التوصيل يعاق امتدادها المتوقع بواسطة الحبوب المعدنية التى عبرها يكون إنسياب التيار الكترونى. هذه تؤدى لتجمع الأيونات على الحد الفاصل بين المعدن والمحلول، منتجة نمو جهد الكهربية الكيميائية عند سطوح حبوب الفلز شكل (6-64)، تشبه هذه الطريقة الإستقطاب القطبى الذى يحدث عند سطح القطب الفلزى المغموس فى محلول كهربى. عندما يتوقف التيار الخارجى المطبق، فإن الجهد الكهروكيميائى يتمدد، ولكن لايهبط للصفر لحظيا. يلاحظ تغير الإضمحلال فى الجهد مع الزمن كما فى شكل (6-65) ويمكن قياسه كجزء من الجهد (V) والذى يكون موجودا عن إنسياب التيار الخارجي وتعطى النسبة $\frac{V\Delta}{V}$ قياس تركيز المعادن الفلزية فى صخر التكوين. وهذا باختصار، أساس الحث المستقطب (IP).

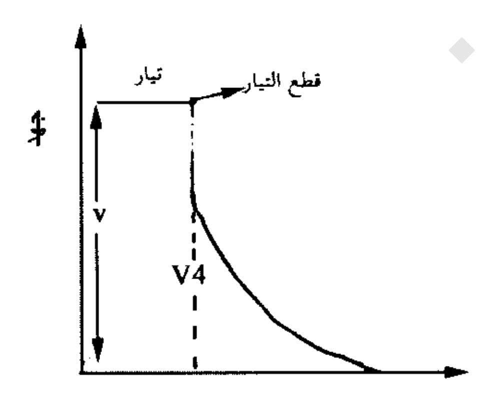
يلاحظ تأثير الحث المستقطب حتى عندما تكون المعادن الفلزية غير موجودة فى صخر المادة. ترى الصخور الرسوبية الحاوية خاصة على الطين قدر من الحث المستقطب. جزيئات سطح الطين لها شبكة سالبة

الشحنات والتى تجذب الأيونات الموجبة من المحلول الكهربى الموجود فى المسام (شكل 64ب). كنتيجة لتوزيع هذا الإستقطاب للأيونات (يسمى الإستقطاب الغشائى)، والذى يعوق إنسياب التيار. عند قطع التيار فإن الأيونات الموجبة تعيد توزيع نفسها لتعود لوضع الإتزان. توضح عملية إعادة توزيع الأيونات إضمحلال جهدى كتأثير للاستقطاب الحثى (IP). حتى الآن، عملت فقط تطبيقات محدودة جدا لتأثير الإستقطاب الحثى المصاحب لمعادن الطين.

الإستقطاب القطبى ظاهرة سطحية كالاستقطاب الغشائى. لذلك فإن تأثير الإستقطاب الحثى يكون كبير عندما يكون الخام الفلزى (الطين) منتشر أكثر منه مدمج (مضغوط).



شكل (6-64): ظاهرة استقطاب قطبى عند p، معدن الكتروليتى أ) ظاهرة غشاء متقطب فى الطين ، ب) أصل الإستقطاب المستحث (IP) المشارك فى الظاهرة (p)



شكل (6-65): اضمحلال جهدى لجسم صخرى يحتوى على معادن فلزية أوتراكم طينى عند قطع التيار الخارجى المطبق. يسمى الجهد المتبقى بعد قطع التيار الخارجى المطبق "بفوق الجهد" وتمد كنسبة $\frac{V\Delta}{V}$ قياس تأثير الاستقطاب الحثى

2.5.6 طريقتى مجال الزمن ومجال التردد :Time-Domain and Frequency-Domain Methods

يمكن قياس الإستقطاب الحثى باستخدام كلا التيار المستمر أوالتيار المتردد. عندما يقاس بواسطة إرسال نبضات تيار مستمر (مثلا لمدة عشرة ثوان) فى الأرض فيعبر عن قيمة الإستقطاب الحثى بـ $\frac{V_t}{V_o}$ حيث V_t الجهد المتبقى عند زمن t (مثلا فى ثانية) بعد قطع التيار، V_o الجهد الموجود عند إنسياب التيار. النسبة V_t/V_o يعبر عنها بالملليفولت/فولت أو كنسبة مئوية

$$IP\% = 100(V_t/V_o) \tag{6-20}$$

تجهيزات الاستقطاب الحثى عامة تسجل اضمحلال الجهد $V_{(t)}$ عبر زمن محدد $(t_2,\ t_1)$. ويعبر عن النتيجة بواسطة تكامل الزمن المقاس من الإستقطاب الحثى

$$M = \frac{1}{V_o}\int_{t_1}^{t_2} V(t)dt. \tag{6-21}$$

تعرف الكمية M كقدرة شحن، عامة تستخدم فى قياسات دورة زمن الإستقطاب الحثى ووحدتها بالميللى ثانية.

عندما يوضع التيار المتردد فى داخل الأرض، فإن نسبة الجهد للتيار المقاس يصبح ممانع أكثر منه مقاوم. يعتمد تأثير ممانعة ومقاومة الأرض على التردد للتيار المتردد. إذا كانت المقاومات (الظاهرية) المقاسة $\rho_{dc},\ \rho_{ac}$ للتيار المتردد المستمر، عندئذ فإن نسبة مئوية تأثير تردد الإستقطاب الحثى (IP) يعبر عنه كالآتى:

$$PFE\ (\text{نسبة مئوية تأثير التردد}) = 100\ (\rho_{dc}-\rho_{ac})/\rho_{ac} \tag{6-22}$$

عمليا يستبدل قياس التيار المتردد المنخفض (0.1 هرتز) بقياس تيار مستمر، يتم قياس التيار المتردد وعند تردد 1 أو 10 هرتز.

التقنية المستخدمة فى الحقل لقياس IP تشبه المستخدمة لقياس المقاومة، أى قطب تستخدم فى قياس المقاومة يمكن إستخدامه لقياس الإستقطاب الحثى (IP). وتوجد الآن عدة وحدات إستقطاب حثى تجاريه (مثل هنتك، سنتركس ومكفار Huntic, Scintrex and Mcphar) ملائمة لقياس دورة الزمن ودورة التردد بتسهيلات تسجيلات أوتوماتيكية.

3.5.6 تطبيق وتفسير نتائج Application and Interpretation of IP Data: IP

1.3.5.6 قاعدة التنقيب الفلزى :Base Metal Exploration

المطلب الوحيد الملائم لهذه الطريقة هو البحث عن الرسوبيات الموزعة الحاوية على معادن موصلة، حيث لاتستطيع الطرق الجيوفيزيقية الأخرى تحديد مثل هذه الخامات. لاتستخدم هذه الطريقة لحل مسائل التركيبات، حيث الطرق الجيوكهربية الأخرى أفضل منها تقدما وتمد بنتائج أكثر ملائمة.

تم فى 1967 حالة إكتشاف فلزى بواسطة الإستقطاب الحثى فى منجم جورتدرم بأيرلاندا Gortdrnm, Ireland، حيث دلت عينات جيوكيميائية اقليمية لمجارى الرسوبيات فى المنطقة على شاذة نحاس تربيه متوسطة القوة. وقد استخدمت خطوط مسح الإستقطاب الحثى وقياسات المقاومة حث وضعت عند مسافات 60 وأبعاد الأقطاب المستخدمة كانت 30 متر، نسبيا، دلت النتائج كما توقعت المصادر الضحلة للشاذة الجيوكيميائية. يمثل شكل (6-66) مقطع نموذجى لبروفيلات توضح كلا من قدرة شحن إستقطاب حثى ومقاومة، وكذلك القطاع الجيولوجى التابع لها. قمة شحن الإستقطاب الحثى الملاحظ عند حوالى 17 ميللى ثانية والذى نتج من حلقية عادية لـ 2-4 ميللى ثانية. أما بروفيل المقاومة يدل على أنه لاتوجد مقاومة معبرة لمنطقة التمعدن بل يرى أساسا تباين مقاومة عالية بين الحجر الجيرى الدولوميتى والحجر الرملى بمباشرة قليلة عبر الفالق.

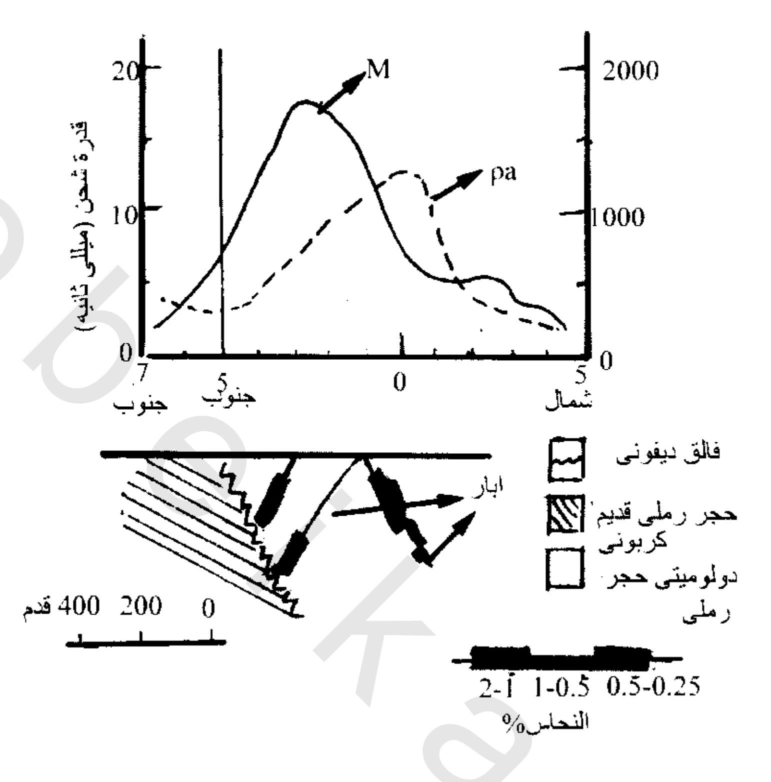
2.3.5.6 إستقصاءات المياه الأرضية Groundwater Investigation:

إستخدمت طريقة الإستقطاب الحثى فى البحث عن المياه الجوفيه لأول مرة فى عام 1957، ووصفت أنها نافعة فى حالتين:

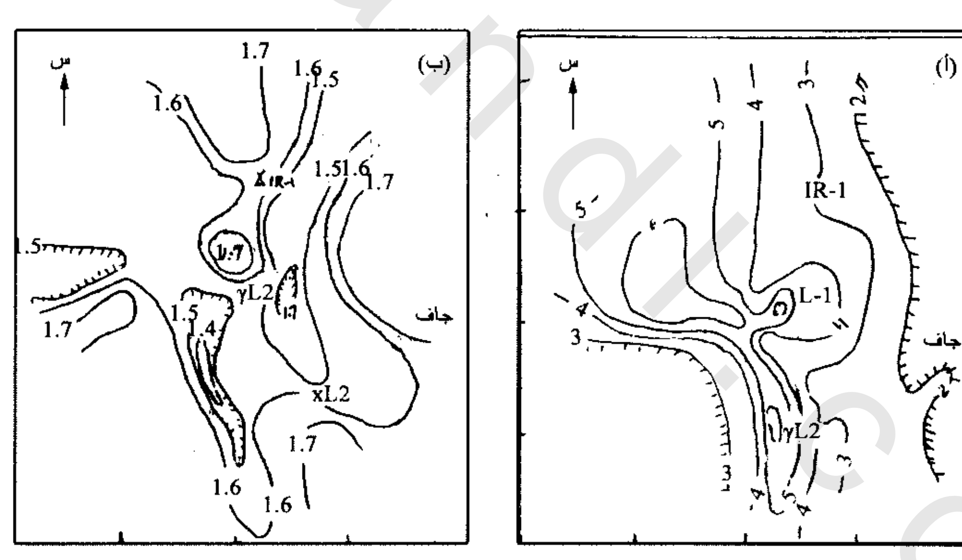
الأولى: بموقع بالقرب من كاريزوزو بنومكسيكو Carrizozo, New mexico فى وادى محدد إلى الجنوب الشرقى بواسطة سيرابلانكا Sierra Blanca والذى يشمل صخور بركانية والتى منها استخرجت مياه أرضية صالحة للشرب. إلى الشمال والغرب لوثت رسوبيات الكرياتوى من وادى تولاروسا Tulorosa المياه الجوفية بالكلوريدات والجبس مما جعلتها غير صالحة للإستخدام.

يوضح شكل (6-67 أ) خريطة لقيم الاستقطاب الحثى لمدة 10 ثوان بعد قطع التيار. تتجه الكنتورات تقريبا شمال-جنوب واضحة كمرآة لحدود نماذج الصرف والتى مرتبطة بكنتورات 2 ميللى /فولت فى الشرق، 3 ميلليوفولت/فولت فى الغرب. وينتج بئر المدى IR-1 بالمنطقة حوالى 4500 لتر/دقيقة لمياه رديئة النوعية نسبيا، وذلك عند استقطاب حثى ينخفض 1≈3 ميللوفولت/فولت). بالقرب من قيمة 6 ميللى فولت/فولت (L-1) ثم لاحقا حفر بئر أنتجت حوالى 450 لتر/دقيقة لنوعية مياه جيدة. ويوضح شكل (6-67 ب) خريطة لقيم الاستقطاب الحثى لمدة 5 ثوان بعد قطع التيار. فسرت الكنتورات بأنها أكثر وضوحا للقنوات المدفونة بنسب كبيرة مصاحبة لمواد حبيبية أكثر دقة.

الثانية: تمت تجربة معملية فى عام 1972 لمقياس نموذجى لاختيار قياسات تأثير دورة الزمن للاستقطاب الحثى فى تحديد تجمعات المياه الأرضية فى طبقة رملية تعلوها طينية. بينما بعد التقاطع كمعيار ثابت عبر عدسات مائية عذبة نصف كروية تنتج شاذات مقاومة كهربية عريضة، فإن شاذات الإستقطاب الحثى تكون متقاربة وشديدة الإنحدار جانبا شكل (6-68أ)،



شكل (6-66): بروفيلات قدرة شحن استقطاب حث (M) ومقاومة ρ_a عبر رسوبيات جورتدرم Grotdrum لتمعدن كبريتيدى موزع



شكل (6-67): أ) خريطة استقطاب حثى فوق جهدى بعد 10 ثانية (المسافة الكنتورية 1 ميللى فولت/فولت) ، ب) خريطة نسبة نتائج للاستقطاب الحثى بعد 5 ثوان ، 10 ثانية بعد قطع التيار عبر وادى لطبقة حاملة للمياه مدفونة بالقرب من كاريزوزو ، نيوسيكو بالولايات المتحدة الأمريكية Carrizozo, New Mexico, USA. أنتج البئر الغاطس عند 1-450 لتر/دقيقة لمياه صالحة للشرب (فاكور وآخرين Varquier et al 1957)

ربما، لنموذج بنفس الأبعاد والهندسية، ولكن لعدسات مياه صالحة، فإن كلا من شاذات المقاومة الظاهرية والاستقطاب الحثى يكونا عريضين فى تباين مع نسبة عبر جهود الإستقطاب الحثى بعد 0.5 إلى 5 ثانية بعد قطع التيار شكل (6-68ب).

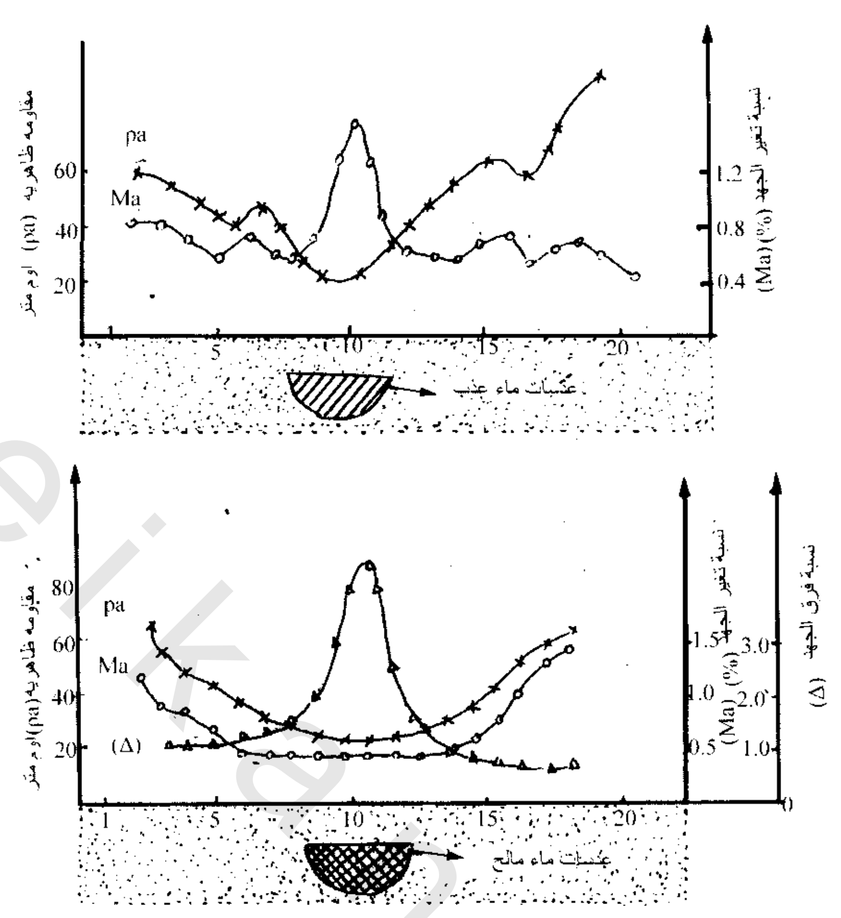
من الحالتين يتضح أنه بالنسبة لخرائط دورة زمن الاستقطاب الحثى لنسبة فوق الجهد (Δ) لزمنين مختلفين يمكن أن يعطى حل دقيق للأجسام المياه التحت سطحية أكثر من خرائط فوق الجهد لقطع تيار لزمن منفرد. بينما يمكن أن تعطى طريقة الإستقطاب الحثى تفسير ناجح لأجسام المياه الأرضية، حيث أن الطريقة الحقلية أقل عمليا من طرق الكهربية المغناطيسية الحثية، ولهذا اسبب فإنه من التأنى توقفت أمثلة حديثة فى إستخدام الإستقطاب الحثى فى البحث عن المياه الأرضية.

4.5.6 تطبيقات بيئية Environmental Applications:

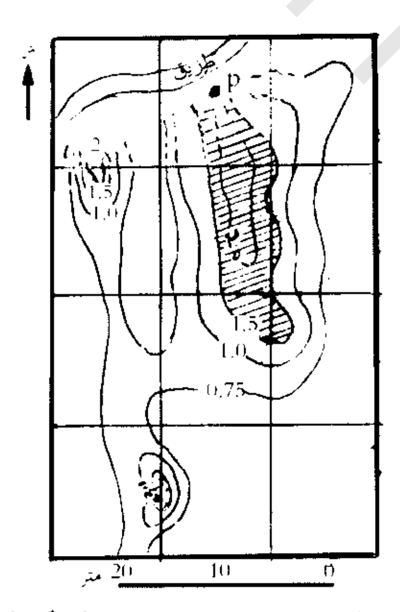
منذ 1980 بدأ الإهتمام فى إمكانية الإستقطاب الحثى فى البحث عن المواقع الملوثة، وفى عام 1985 استخدمت خواص الإستقطاب الحثى كمثال للصخور الملوثة بمواد عضوية. حيث يمكن تمثيل الكيماويات العضوية بمواد طينية، لذلك فإن الإستقطاب الحثى المسئول عن معدن الطين يعامل كتغير لمخلوط محلول كهربى. وفسر بعض المؤلفين 1992 عينات معملية لعينات طينية جليدية ملوثة بـ جليكول* الإثيلين ethylene (glycol) باستخدام طرق الإستقطاب الحثى الطيفى. وقد وجدوا أن كلا من الطور وطيف المقاومة (كدالات التردد) للعينات الملوثة تختلف اختلافا هاما عن العينات الغير ملوثة. ولم تزل هذه التقنية أن تكون واضحة عند استخدمها لإنجاز مسح حقلى تام.

فى عام 1990 أوضح بعض المؤلفين حالة دراسية، كان الحقل المستخدم فيها لمعيار استقطاب حثى فى اتصال مع قياسات معملية مناسبة، جهز هذا لتخريط منطقة هامة ملوثة بمعقدات سيانيد والذى نشأ من نوع مادة خبث من أعمال لتغطية ألواح سابقة، واستعملوا فى دراستهم كلا من الجسات الكهربية (استخدام تصفيف شلمبرجير) ويتماثل بروفيل مقاومة بالاستقطاب الحثى (تسمى هذه الطريقة بروفيل تماثل المقاومة SRP-الاستقطاب الحثى IP) والتى تمت بهؤلاء المؤلفين. وقد فشلت طريقة المسح الكهربى فى اكتشاف التلوث حتى عند قياسها مباشرة عبر رسوبيات خبث معروفة. وبالعكس فإنه بمسح طريقة (IP-SRP) والتى استخدمت لقياس قدرة شحن، فقد تم بنجاح تحديد ليس فقط حدود الخبث المعروف ولكن تم بها أيضا اكتشاف مساحة ملوثة غير معروفة سابقا. وتم عمل خريطة قدرة الشحن (IP-SRP) (شكل 6-69) والتى عليها مراكز التلوث والمناطق المتأثرة ولها التى ظهرت بوضوح.

* النشا الحيوانى



شكل (6-68): نتائج مقياس نموذج تجريبى للمقاومة الظاهرة ونسبة تغير الجهد ونسبة تغير الجهد ونسبة فوق الجهد (Δ) مقاسة بعد 0.5 ، 5 ثانية من قطع التيار حصل عليها عبر عدسات نصف كروية فى أ) ماء عذب، ب) ماء مالح (أوجلفى وكيورينا (Ogilvy & Kuzmina 1972



شكل (6-69): خريطة إعادة شحن عبر موقع ملوث بمركبات سيانيد، حيث الموقع المنكشف للخبث المعروف عند (p). خطوط كنتور وإعادة الشحن (المساحة المظللة) تشير لتوضيح أرض ممتدة التلوث (كاهينا وآخرين Cahyna et al 1990)،

الفصل السابع

الطريقة الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Method (EM)

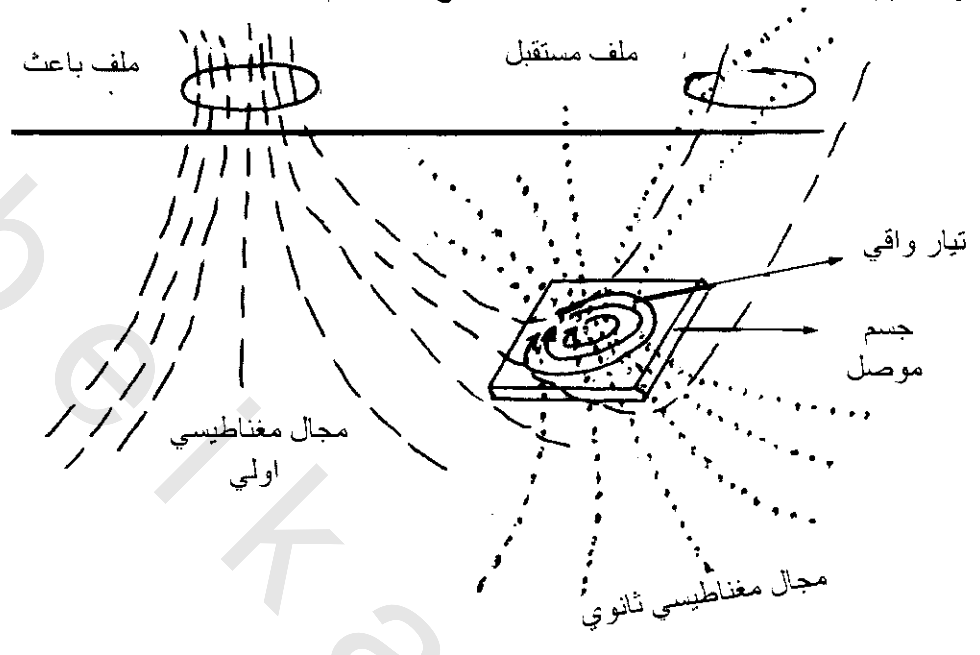
1.7 مقدمة Introduction:

من أهم الطرق الجيوفيزيائية التى تستخدم على نطاق واسع فى استكشافات المعادن، حيث تعتمد على حث التيارات الكهربية فى الموصلات المدفونة، مثل بعض أجسام الخامات، بواسطة المركبات المغناطيسية للموجات الكهرومغناطيسية التى تتولد عند سطح الأرض. بالإضافة للاستكشاف المعدنى فإن هذه الطريقة تستخدم لتقييم مورد المعدن، مسوحات المياه الجوفية، تخريط أماكن التلوث، استكشاف موارد الحرارة الأرضية، مسوحات مدافن الزبالة، اكتشاف الكهوف الطبيعية والصناعية، توقيع الفوالق الجيولوجية والتخريط الجيولوجى.

فى هذه الطريقة، تستخدم ملفات تجبر التيارات الكهربية الإنسياب فى الأرض وتكتشف تاثيراتها. عادة يتم مسح الكهرومغناطيسية بملفين، أحدهما يسمى الباعث والآخر يسمى المستقبل. من الملف الباعث تنشأ موجات من ترددات تتراوح بين بضعة هيرتز إلى ميجاهيرتز والتى تمر من سلك ملف على الأرض أو فى الهواء. تمتد المجالات المغناطيسية المتذبذبة المتولدة من التيار الكهربى كموجات داخل الأرض، وتخفف (توهن) هذه الموجات بمعدل يعتمد على التردد والخواص الكهربية لمواد الصخر التى تمر من خلاله، حيث يصاحب التردد الأعلى معدل تخفيف أكبر. عندما تمر الموجات فى جسم موصل فإنها تحث تيارات كهربية مترددة. تصبح هذه التيارات المصدر لموجات كهرومغناطيسية جديدة، والتى يمكن الكشف عنها بواسطة ملفات لاقطة مناسبة (المستقبل).

يوضح شكل (7-1) ملفى إرسال وإستقبال لمسح كهرومغناطيسى وخطوط تابعة لمجالين مغناطيسيين أولى وثانوى، التيار المنبعث من المرسل يحث مجال مغناطيسى متردد، يسمى المجال الأولى والذى يمتد خلال المنطقة المحيطة والتى تحتوى على جسم موصل. يحث هذا المجال الأولى تيار متردد لينساب خلال حلقة مطوية (عروة) داخل الموصل. يحث هذا التيار الأرضى مجال مغناطيسى آخر يسمى المجال الثانوى، والذى يمتد أيضا خلال المنطقة التى تشمل المستقبل. المجال المغناطيسى المختلط H_S (الناتج من المجال المغناطيسى الأولى والمجال المغناطيسى الناتج من جسم موصل) يحث تيار متردد فى المستقبل، هذا التيار المقاس يمكن إستخدامه لتحديد شدة المجال المغنايطسى المختلط H_S عند موقع المستقبل، ويكون التطبيق العادى هو مقارنة

قيمة H_S مع قيمة شدة المجال الأولى فقط H_P عند نفس موقع المستقبل وحيث أن أماكن الملف والتيار فى ملف الإنبعاث يكونا معروفين، لذلك يمكن حساب قيمة المجال الناتج من الجسم الموصل.



شكل (7-1): ملفات إنبعاث واستقبال تستخدم للمسح الكهرومغناطيسى (EM)، وخطوط المجالات الأولية والثانوية التابعة لها. تحث المجال الثانوى بواسطة إنسياب التيار فى الجسم الموصل

2.7 توهين مجالات الكهرومغناطيسية والعمق المخترق

Attenuation of EM Fields and Depth Penetration:

أى مجال كهرومغناطيسى ينتج خارج الموصل يوهن (يضعف أو يقل) مع المسافة داخل الموصل، ويعتمد معدل التوهين على التردد والتوصيل. يمكن إيجاد مستوى الموجه من المعادلة الآتية، لأن الإنتشار الرأسى بالإتجاه الأسفل فى نصف فراغ التوصيل σ

$$\nabla^2 H = i\omega\mu_\sigma H, \quad \nabla^2 E = i\omega\mu\sigma E \qquad (7\text{-}1)$$

حيث $\omega = 2\pi f$ زاوية التردد للمجال

μ = النفاذية المغناطيسية (H/m)

σ = التوصيل الكهربى (mho/m) للوسط

القيمة النسبية للعبارة $\omega\mu\sigma$ تكون دلالة فيزيائية لكلا من ملاحظة توهين المجالات الكهرومغناطيسية وتولد مجالات الحث. النتائج الفيزيائية للحل هى أن المجال E أو H يوهن عند السطح فى سعة بواسطة $e^{-\sigma z}$ عند عمق Z حيث $\alpha = \sqrt{\omega\mu\sigma/2}$. العمق Z_s التى عندها تقل السعة إلى 1/e (هذا يعنى 37%) من قيمة سطحها يعرف كعمق سطحى. فى بعض الأحيان ، يشير هذا العمق كعمق مخترق لموجات كهرومغناطيسية ويعطى بالمعادلة

$$Z_s = \frac{503.8}{\sqrt{\sigma F}} = 503.8\sqrt{\rho / F} \qquad (7\text{-}2)$$

حيث ρ = المقاومة فى اوم متر= $\frac{1}{\sigma}$

F = تردد للموجة الكهرومغناطيسية (هرتز)

يرى جدول (7-1) تغير العمق السطحى مع التردد والمقاومة.

جدول (7-1). تغير العمق السطحى مع التردد F لمستوى إنتشار موجه كهرومغناطيسية فى نصف فراغ مقاومة (ρ) أو توصيل (σ)*.

تردد هيرتز (F)	عمق سطحى (متر)			
	$\rho = 10^{-2}$ أوم م $\sigma = 10^{2}$م/د	1 أوم متر 1 متر/د	10^{2} أوم متر 10^{-2} متر/د	10^{4} أوم متر 10^{-4} متر/د
0.01	500	5000	5×10^{4}	5×10^{5}
0.1	160	1600	1.6×10^{4}	1.6×10^{5}
1	50	500	5000	5×10^{4}
10	16	160	1600	1.6×10^{4}
10^{2}	5	50	500	5000
10^{3}	1.6	16	160	1600
10^{4}	0.5	5	50	500
10^{6}	0.05	0.5	5	50

إذا كانت الصخور السطحية لها مقاومة منخفضة (ρ~100 أوم متر) مثلا بسبب وجود ماء حاوى أملاح مذابة، فإن Z_S ستكونحوالى 160 متر عند تردد F = 1000 هرتز و 16 متر فقط عند F = 100 كيلوهرتز (ترددات راديو). فى الأحواض الرسوبية التى لها مقاومات من رتب 1-10 أوم متر فإنها تتطلب تردد F يكون أقل من 0.1 هرتز لأعماق مخترقة لـ 1600 متر. يمكن ملاحظة أن العمق السطحى يعين فقط لتتابع طبيعى فى المجال العملى، ربما، يتأثر أيضا عمق الإختراق بواسطة عوامل أخرى مثل شوشرة الأجهزة، القيمة النسبية للشاذات المتناثرة المتسببة بواسطة قرب تغيرات سطح الموصل، والشكل الهندسى الموصل عميق.

3.7 علاقة الطور بين المجال الأولى والثانوى

Phase Relation between Primary and Secondary Fields:

يرى شكل (7-1) الصورة العامة لنظام التنقيب الحثى، حيث يدور تيار متردد ذا تردد $\omega/2\pi$ وشدة I_P فى ملف المصدر منتجا مجال أولى P فى المنطقة المحيطة. يتناسب هذا المجال مع وفى الطور بـ I_P كما فى العلاقة

$$P = KI_P \sin \omega t \qquad (7\text{-}3)$$

حيث تعتمد K على هندسة الجهاز، عدد اللفات، مساحة الملف. عندما يمثل المجال الأولى على الدائرة الكهربية، يعنى موصل، فإن حث المجال الكهرومغناطيسى، E_S، فى الموصل يتناسب مع $\tilde{n}P$، ويتأخر خلف P بواسطة ربع فترة هذه تتبع القانون الأساسى للملف (قانون فراداى)، ويكون تأخر الطور فى تعبير زاوى كالآتى

* وحدة المعيار العالمى SIU للتوصيل هى سيمن (Siemen) لكل متر (S/m)، والتى تكون نفس mho/m المنتشرة الإستخدام فى الجيوفيزياء.

تأخر الطور (E_S بالنسبة لـ P) $= \pi/2$ (7-4)

باعتبار Z_S ($R_S + \omega L_S$ I) الممانعة المؤثرة لموصل مقاومته R_S وحثه L_S ، فإن حث (دوامة) التيار المناسب فى الموصل يكون

$$I_S = E_S/Z_S \quad (7\text{-}5)$$

ينتج التيار I_S والمجال المغناطيسى الثانوى بواسطة تأخر خلف مجال كهرومغناطيسى، E_S، وذلك بواسطة تأخر طورى ϕ والذى يعتمد على خواص الموصل كما فى الدائرة الكهربية. وتعين ϕ من العلاقة

$$\tan\phi = \omega L_S/R_S$$

$\therefore\ \phi$ (E_S بالنسبة لـ (المجال الثانوى) تأخر طور د) $= \tan^{-1}(\omega L_S/R_S)$ (6)

ويمكن الحصول على الإختلاف الطورى الكلى بين المجال الأولى والثانوى بواسطة جمع المعادلة (4-7) ، (7-6) والتى تعطى

تختلف طورى (S بالنسبة لـ P) $= \tau/2 + \phi$

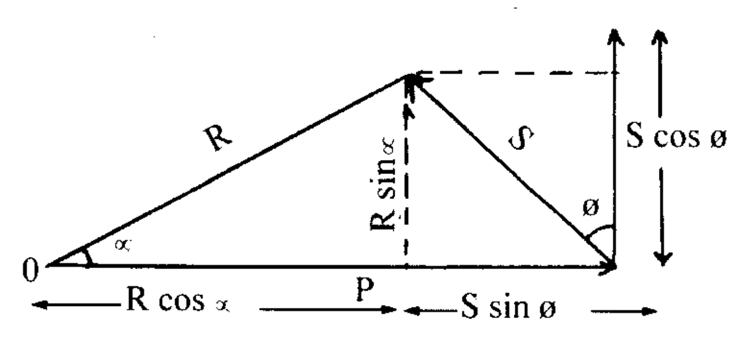
$$= \tau/2 + \tan^{-1}(\omega L_S + R_S) \quad (7\text{-}7)$$

ويتبع ذلك أنه عندما يوجد موصل جيد فإنه عندما ($\omega L_S/R_S \to \infty$ $\phi = \pi/2$) يكون طور S غالبا 180° خلف P. ولموصل ضعيف جدا ($\omega L_s/R_S \to o$, $\phi = o$) فإن تأخر طور S يكون 90° خلف P. هذا التأخر الطورى للمجال الثانوى S يقيس التوصيل.

4.7 المركبات الحقيقية والتخلية لمجالات الكهرومغناطيسية

Real and Imaginary Components of EM Fields:

يعطى إشتراك المجال الأولى P والثانوى S محصلة (R)، والتى تقاس بواسطة الكاشف. ويوضح شكل (2-7) رسم متجهات العلاقة الجيدة بين P، S، R. تكون مركبة R المنطبقة الطور مع P هى R cos X، وهذه تسمى المركبة الحقيقية أو فى طور مركبة. عند 65° تكون المركبة خارج الطور هى $R \sin\alpha$ وتسمى المركبة التخيلية أو مركبة تربيعية. تعتبر المصطلحات الحقيقية والتخيلية أصلية فى نظرية دائرة الكهربية المترددة وبصرف النظر يستخدم معناها المعجمى.



شكل (2-7): العلاقات الطورية بين المجال الأولى P، والثانوى S والمحصلة R. من المهم ملاحظة أن المتجهات تمثل فقط علاقات زمنية متبادلة وليست تجاهات خاصة للمجال

أيضا يمكن حل المجال الثانوى إلى مركبة حقيقية للقيمة $S \sin \phi$ والمركبة التحيلية لقيمة $S \cos \phi$. وتكون نسبة السعة للمركبات الحقيقية (R_e) والتخيلية (I_m) للمجال الثانوى علاقة لزاوية الطور ϕ، وتبسط بواسطة

$$R_e/I_m = \tan \phi = \omega L_S/R_S \quad (7\text{-}8)$$

ويكون الموصل أفضل بزيادة نسبة R_e/I_m.

5.7 إستقطاب القطع الناقص للمجال الكهرومغناطيسي: Elliptic Polarization of EM Field

عندما يثار الموصل التحت سطحى بواسطة المجال الأولى فإن محصلة المجال المقاسة بواسطة الكاشف (الملف الباحث) تكون إشتراك للمجالين الأولى والثانوى. ومن المعادلات السابقة يمكن كتابة تعبيرين لهما كالآتى:

$$P = A \sin \omega t \quad (7\text{-}9)$$

$$S = B \sin (\omega t - \pi/2 - \phi)^2 \quad (7\text{-}10)$$

حيث A، B دالات للشكل الهندسى للباعث والموصل، والكاشف، وبتربيع (7-9)، (7-10) وحذف ωt لصفر قيمتها بعد التربيع وحل المعادلتين تكون الصيغة النهائية هى

$$\frac{P^2}{A^2} + \frac{S^2}{B^2} - \frac{2PS \sin \phi}{AB} = \cos^2 \phi \quad (7\text{-}11)$$

وهذه معادلة القطع الناقص.

التحليل السابق حالة خاصة للمجالين P، S المتجهين فى الفراغ عند زوايا قائمة من واحدة لأخرى. ربما، يمكن رؤية أنه بصرف النظر عن أعداد المجالات الثانوية وبصرف النظر عن سعتهم، أطوارها واتجاهاتها، فإن محصلة P ، S تمثل بواسطة متجه فردى R والذى ترسم راسه قطع ناقص ($\omega/2\pi$) عدة مرات لكل ثانية.

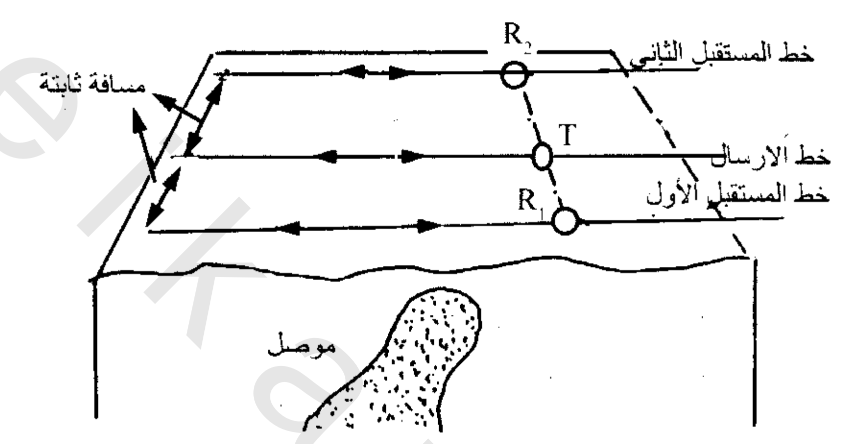
ربما يقع القطع الناقص فى أى مستوى فراغ مائل عن الأفقى أو الرأسى. لذلك يكون من الواضح توجيه الملف الباحث دائما حتى يقع فى مستوى القطع الناقص ويعرف ذلك عندما يحصل على إشارة الصفر الحقيقية. أيضا، يحصل على أكبر وأصغر محاور للقطع الناقص وذلك عند وضع الملف عمودى على مستوى القطع الناقص وقياس أكبر وأقل إشارات محثة فيه كلما أدير خلال انقلاب واحد كامل. تحدد هذه المحاور السعات للمركبات الحقيقية والتخيلية لمجال المحصلة. وقد وضعت بعض طرق الكهرومغناطيسية على تحديد القطع الناقص المستقطب.

هنا، سنلقى الضوء تقريبا على نوعين لتشكيلين مؤثرين للكهرومغناطيسية حيث أنهم أوسع إنتشارا للإستخدام.

1) قياسات زاوية الميل، والتى تعمل على الأرض بجهاز محمول خفيف الوزن.
2) إستخدام ملفات أفقية عند مسافات ثابتة وهى ملائمة للمساحة الأرضية والجوية.

1.5.7 مسح كهرومغناطيسى خط موازى ميل زاوية :Parallel-Line Dip Angle EM Surveying

يقاس إتجاه المجال المغناطيسى المختلط بواسطة مسح خط كهرومغناطيسى موازى ميل الزاوية، حيث يوضع ملف الإنبعاث (T) فى مكان عمودى على خط المستقبل (R_1) على أن يكون على بعد مسافى كما فى شكل (7-3)، عندئذ يدار ملف الإستقبال على محور باتجاه المصدر حتى يصل للمكان الذى لايوجد فيه تيار يحث. فى هذا المكان يكون الملف موازى بالضبط لإتجاه المجال المغناطيسى المختلط، والذى فيه لايقطع أى نوع من خطوط القوى. عند هذا الوضع تقاس زاوية ملف المستقبل.

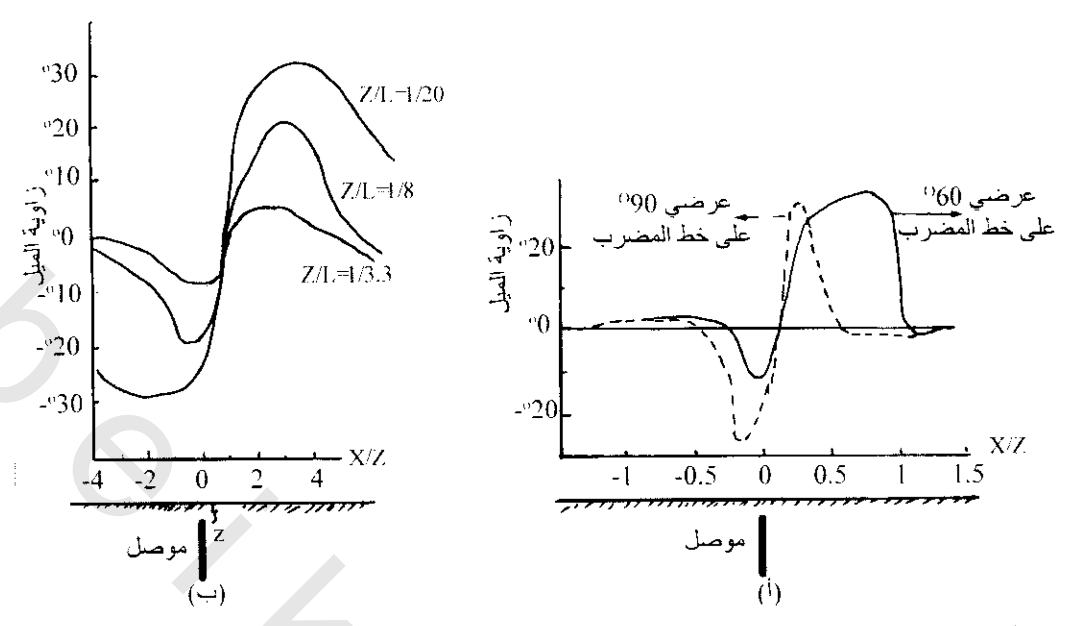


شكل (7-3): أماكن ملفات الإنبعاث والإستقبال لمسح كهرومغناطيسى خط موازى ميل الزاوية ، بعد القياسات من هذه الأماكن ، تحرك الملفات بمسافات متساوية على طول بروفيلات مقابلة ، وتكرر الطريقة

بعد ذلك، يحرك الباعث والمستقبل بمسافات متساوية على طول خطوط بروفيلات متوازية وتؤخذ قراءات أخرى. بهذه الطريقة يقدم المسح قراءات مأخوذة جميعها عند مسافات متساوية على طول بروفيل بينما تكون المسافة بين الباعث والمستقبل ثابتة. ولمسح أسرع يستخدم مستقطبين R_1، R_2 واللذان يعملان فى نفس اللحظة على طول بروفيلين على جانبى الباعث شكل (7-3).

لأن ملف الباعث يكون فى وضع رأسى، فإن المجال الأولى سيكون أفقيا عند مكان المستقبل. لذلك عند عدم وجود أجسام غير موصلة، فإنه سوف لايحث تيار فى ملف المستقبل عندما يكون أفقيا، ولايحث التيار إذا وضع المستقبل مباشرة فوق الجسم الموصل عندما يكون المجال الثانوى أيضا أفقيا. فى أماكن أخرى، عندما يكون المجال الثانوى مائلا، فإن زوايا ميل الملف تتغير على طول البروفيل القاطع فوق الجسم الموصل من موجب لسالب من جهة لأخرى. عادة، تحلل زوايا قياسات EM المقاسة بواسطة مقارنتها بالمنحنيات الخاصة لتركيبات مثالية، حيث أن العمليات الرياضية للتعبير عن هذه التأثيرات معقدة. توضح المنحنيات الخاصة فى شكل (7-4) كيف أن زاوية الميل تختلف عبر الموصل وذلك لتعامد مستوى اللوح.

هذه المنحنيات ترى أيضا أن عمق الموصل يمكن تحديده من مدى ميل الزوايا، المدى الصغير يتبع العمق الكبير، إذا كان العمق صغير جدا، فإن مدى الزوايا المقاسة على طول البروفيل تكون ±30 درجة. عندما تكون نسبة العمق (Z) إلى مسافة الباعث L تزيد إلى الثلث فيكون مدى زوايا الميل أقل من ±10° درجة. أيضا ترى هذه المنحنيات كيف أن النتائج تكون منحرفة إذا كان البروفيل غير عمودى على مضرب مستوى الموصل.

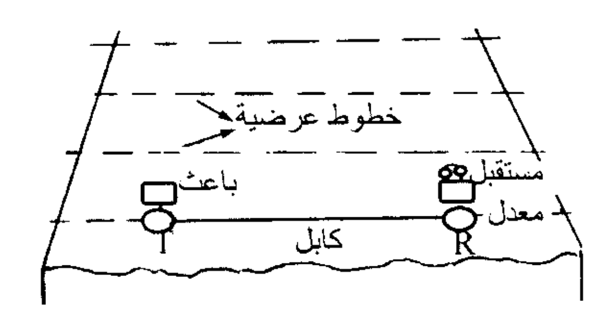


شكل (7-4): أ) منحنيات توضح تغير زاوية الميل على طول بروفيلات تعبر لوح رأسى موصل عند زوايا مختلفة، ب) منحنيات ترى تغير فى زاوية الميل عن لوح رأسى موصل عند أعماق مختلفة (Z/L) حيث L المسافة بين الباعث والمستقبل (تلفورد، جلدارت، شريف وكييز Telford, Geldart, Sherif and Keys 1976)

أعطى كثير من مسوحات ميل زوايا بسيطة لـ EM لتحديد أهداف لاختبارات حفر أو أنواع أخرى من القياسات الجيوفيزيائية. مدت هذه المسوحات أساس معلومات دلالية عن مكان ومضرب الجسم وتعين عمقه.

2.5.7 مسح كهرومغناطيسى أفقى حلقى مطوى (عروة) :Horizontal-Loop EM Surveying

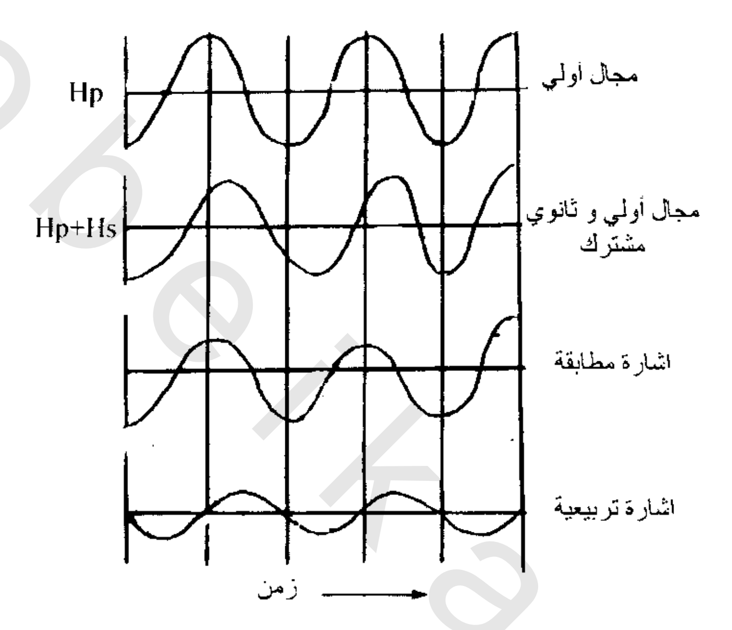
لهذا المسح توجه ملفات الإنبعاث والإستقبال (تقريبا ذا حجم متساوى، أفقيا فى نفس المستوى. تؤخذ القراءة على طول بروفيل عندما يكون الباعث والمستقبل فى خط واحد وأبعاد ومسافات ثابتة شكل (7-5) للمسح الأرضى، يكون المقابل بين الملفين مفيد لحفظ نفس البعد للملفات وكموصل مرجع إشارة لتزامن الملفات.



شكل (7-5): طريقة مسح كهرومغناطيسى أفقى حلقى. بعد أخذ القراءة يحرك كلا من الباعث والمستقبل على طول الخطوط العرضية وتؤخذ قراءات أخرى. مع الأخذ فى الإعتبار ثبات المسافة بين الباعث والمستقبل

وكجميع أنظمة الكهرومغناطيسية فإن التيار المتردد يحث فى المستقبل بواسطة إشتراك المجالات المغناطيسية الأولية والثانوية المترددة. يستخدم هذا التيار لتحديد شدة المجال المغناطيسى المشترك عند مكان معين. هذا القياس لشدة المجال يعالج بطريقة هامة للحصول على القراءة.

لتوضيح ماذا يعمل، يقارن شدة المجال المتراوح عند المستقبل بشدة المجال الأولى فقط. يرى شكل (7-6) أن المجال المشترك له سعة مختلفة، ولذلك قممه وقيعانه تزاح بالنسبة للمجالات المزاحة فى المجال الأولى. هذه الإزاحة تسمى إزاحة الطور.



شكل (7-6): مجالات مغناطيسية أولية وأولية ثانوية مشتركة متبادلة عند موقع ملف إستقبال كهرومغناطيسى، وإشارات متطابقة وتربيعية مضافة مع بعضها لإنتاج مجال مشترك. قيست سعات الإشارات تبع شكل (7-6) المتطابقة والتربيعية عند كل موقع تسجيل على طول خطوط عرضية فى منطقة المسح

يمكن إعادة إنتاج شكل المجال المشترك رياضيا بواسطة دالتى جيب زاوية المنحنيات والتى لها نفس التردد ولكن يكونا فى طور 90° متفاوت الطور بالتتابع مع المجال الأولى. هذا يعنى أن القمم والقيعان لواحدة من هذه الموجات الصورية (المسماه إشارة فى طور)، تكون فى خط مع هؤلاء من المجال الأولى. وتكون القمم والقيعان للموجات الصورية الأخرى، المسماه إشارة مربعة، فى خط مع النقط المتوسطة (المنصفة) بين القمم والقيعان للمجال الأولى. الإشارات منطبقة الطور أو المربعة ترى فى شكل (7-6).

بواسطة التحليل الإلكترونى للدائرة الكهربية والإشارة المرجعية الأولية الموصلة خلال الكابل من الباعث إلى المستقبل، يمكن تحديد سعات إشارات منطبقة الطور والمربعة. هذه القيم تصنع القراءات عند موقع معين بهذه الطريقة تعمل قراءات متتابعة حيث يحصل عليها بواسطة باعثات ومستقبلات متطورة على طول البروفيل، مع دوام المحافظة على نفس البعد.

عادة تحلل تغيرات إشارات منطبقة الطور والمربعة بواسطة مقارنتها مع المنحنيات الخاصة لنماذج مثالية لأجسام موصلة. يوضح شكل (7-7) أنماط تعبر عبر لوحة مستوى رأسى لمعاملات توصيل مختلفة. التركيبات البسيطة مثل ألواح رأسية أو مائلة فإن تعبيرات تطابق الطور والمربع يمكن التعبير عنها رياضيا، للتركيبات الأكثر إنعدام نظام الشكل، فإن العمليات الرياضية تصبح غير عملية ومعقدة. لذلك فإن مسئولية الحصول من التركيبات المعقدة على نتائج يمكن اختيارها بنماذج معملية احتمالية تقاس لإعادة إنتاج حالات طبيعية.

عادة وزن أجهزة هذه الطريقة طفيفة ومن السهل حملها، أيضا أقطار الباعث والمستقبل حوالى 3 أقدام، ووحدات التحليل الإلكترونى يمكن حملها على الكتف لإثنين من الراصدين.

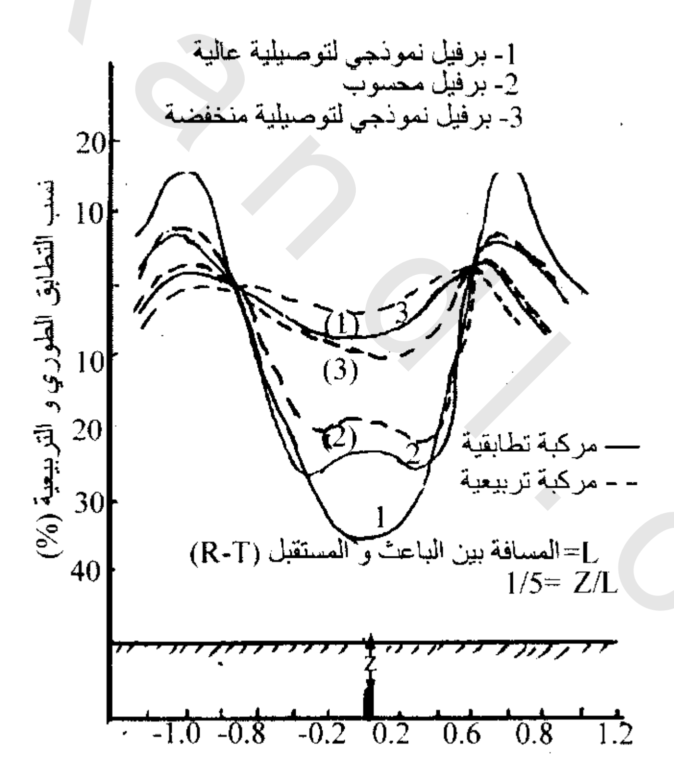
مما سبق يتضح أنه لقياس الأعماق بتطبيق طريقة الكهرومغناطيسية فإنه إما:

1) تغير مسافة التباعد بين حلقة الإرسال وملف الإستقبال.

2) تغير التردد مع الإحتفاظ بمواضع الإرسال والإستقبال ثابتة.

وعادة ما يفضل عامة تغيير التردد، حيث أن التغير فى المواضع للوحدات السطحية ربما يؤدى لتأثير غير مرغوب فيه.

يتضح أيضا مما سبق أن النظرية التى تفسر بواسطتها معلومات الإستطلاع الرأسى ليست صعبة التطبيق حيث يمكن ملائمة نماذج بسيطة مع التركيب التحت سطحى ويمكن إكتشاف العمق لقمة طبقة سميكة وموصلة تماما تأتى أسفل غطاء رسوبى ذى مقاومة غير محدودة وذلك بقياس نسبة السعات للمجالات المغناطيسية الأفقية إلى المجالات المغناطيسية الرأسية والتى ترصد على السطح. فى هذه الحالة، يعين العمق Z لشريحة أفقية موصلة بمقارنة هذه النسبة عند قيم متغيرة للمسافة الأفقية بين الإرسال والإستقبال (X) باستعمال منحنى لوغاريتمى يحسب لنسبة عمق (Z) مختلفة مع المسافة الأفقية (X).



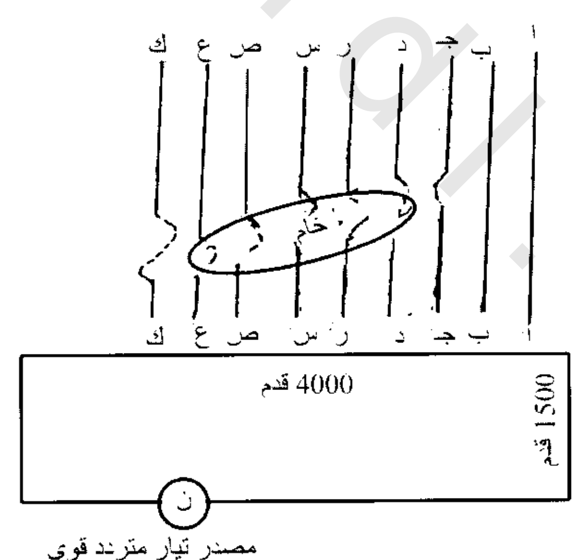
شكل (7-7): منحنيات توضح تغير إشارات تطابق طورى وتربيعى على طول بروفيل عابر للوح موصل رأسى شبه لانهائى عند عمق ثابت وله قيم توصيلية مختلفة. قيم منحنيات 1، 3 مقاسة عبر نماذج ومنحنى فى محسوب من تعبيرات نظرية (تلفورد، جلدارت، شريف وكيس Telford, Geldart, Sheriff and Keys 1976)

6.7 طرق الإستكشافات التحت سطحية :Subsurface Exploration Methods

1.6.7 طريقة صندبرج Sundeberg Method:

وصفت هذه الطريقة بواسطة زوشلاج 1932 Zuschlag وفى هذه الطريقة تفسر المعلومات باستعمال المعادلات والمنحنيات التى تحسب للوح أو عدة ألواح رقيقة موصلة. يسرى التيار من كابل نحاسى معزول، يتصل بمصدر لتيار متردد، ويمتد على طول السطح، إما كسلك طويل يتلامس مع الأرض، أو كحلقة كبيرة معزولة على شكل مستطيل. يوضع عدد من بروفيلات إستقبال مستعرضة عموديا على السلك المتلامس مع الأرض، أو إلى جانب واحد للحلقة. تقاس المركبة المغناطيسية للمجال الكهرومغناطيسى الذى يحث عند نقط متفرقة على طول البروفيل بواسطة ملفات بحث خاصة تتكون من عدة مئات من لفات سلكية. يستعمل على الأقل ترددان وتقاس الأعماق بمقارنة النتائج عند ترددات مختلفة. الكمية التى توقع فعليا فى الخرائط هى النسبة لشدة المجال عند كل نقطة قياس إلى التيار فى حلقة المصدر.

يوضح شكل (7-8) تطبيق طريقة صندبرج، حيث حلقة المصدر مستطيلة الشكل طول بعديها 1500، 4000 قدم ،حيث يسرى التيار عبر حلقة أرضية، وتحرك ملفات البحث على طول خطوط مستعرضة مثل pp`، ب ب` وهكذا. وتبين الخطوط المتقطعة إستجابة نسبية لملفات البحث الرأسى كدالة للموقع على طول الخط الأرضى. وتدل الخطوط المتقطعة على موضع الجسم بالمنطقة حيث يسجل فوقها إستجابة مغناطيسية مميزة، وإذا أمكن تقريب الجسم الخام إلى شريحة ما، فمن الممكن تعين عمقه بقياس المركبات المناظرة للمجال متفقا أو متفاوتا فى الطور مع إشارة المصدر.



شكل (7-8): الكشف عن جسم خام موصل أسفل غطاء رسوبى ضحل بواسطة الحث الكهرومغناطيسى

إستعملت هذه الطريقة لاستكشاف البترول على أعماق ضحلة قبل أن تتطور الطرق السيزمية لرسم خرائط فعالة للتركيبات الضحلة، وأيضا خططت لبعض الفوالق بهذا الأسلوب. تستعمل هذه الطريقة الآن فى الإستكشاف المعدنى فقط.

2.6.7 طريقة تورام Turam Method:

تشبه طريقة صندبرج، ولكن تختلف عنها فى رصد النسبة لشدة المجال عند نقطتين بدلا من الشدة عند نقطة واحدة. وكما فى حالة صندبرج، يستعمل ترددان فى حدود من 100 إلى 800 هرتز. يطرح كابل بطول عدة كيلومترات كمصدر موازى لخط الإتجاه المتوقع ويتلامس مع الأرض عند نهايته. تقرأ ملفات القياس زوجيا على طول خطوط متعامدة مع الكابل، حيث تكون المسافة بينهما عامة فى حدود 25 متر. ثم بعد ذلك ترصد النسب المتطاورة والمتفاوته طوريا، فضلا عن نسبة السعة واختلافات زاوية الطور.

3.6.7 طريقة المصدر المتحرك Moving Source Method:

تتطلب هذه الطريقة مولدات وحلقات مصدر أصغر وأكثر سهولة فى النقل عما يستعمل فى الأساليب الفنية للمصدر الثابت، التى يستخدم فيها غالبا ملفات كبيرة معزولة أو أسلاكا طويلة تتلامس مع الأرض.

فى هذه الطريقة يستعمل تشكيل جانبى أفقى لتنفيذ معظم المساحات الكهرومغناطيسية بهدف تحديد مكان المواضع الأفقية للأجسام الموصلة المدفونة أفضل من تحديد أعماقها، وفيها يستعمل كلا المصدرين الثابت والمتحرك فى المساحات التى توصل لهذا الغرض. تتضمن طريقة المصدر المتحرك زحزحة كل من المصدر والمستقبل عادة بطريقة تحافظ على تباعد ثابت بينهما. المشكلة الرئيسية فى هذه الطريقة هو الإزدواج المتغير بين المصدر والموصل. وهذا يسبب تغيرات فى الإستجابة التى لاتقترن بالموصل تحت سطح الأرض مما يسبب صعوبة التفسير.

ملحوظة:

1- طرق المصدر الثابت تصمم عادة بطريقة تحفظ الإرسال عند موضع واحد وتحرك حلقة الإستقبال فوق المنطقة التى تستكشف.

2- تصمم بعض الطرق لقياس الإتجاه للمجال التأثيرى فقط، حيث تكون عالية الحساسية ولا تتطلب أجهزة معقدة.

3- تتجنب هذه الطرق الإحتياج لقياس إشارة مقارنة تفترق بالمصدر نفسه، وهذا مطلب صعب فى تحديد السعات النسبية للمجالات التأثيرة.

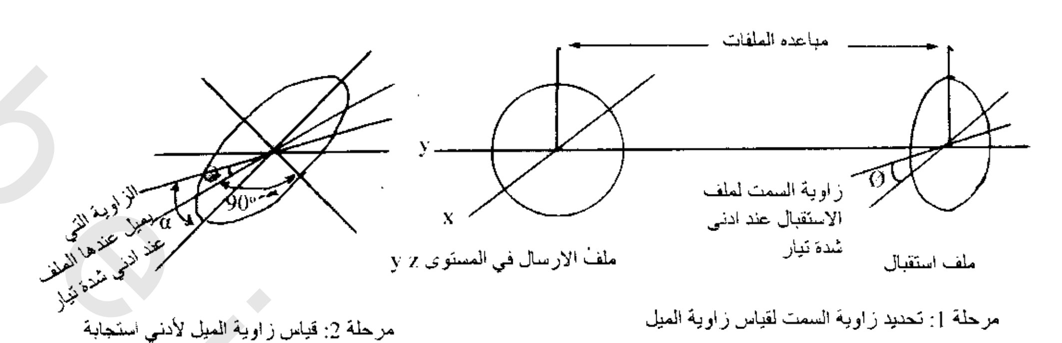
4- تعطى المجالات المرصودة عند موضعين أو النسبة لمركبتين ترصدان عند نفس المكان معلومات عن المقاومة النوعية لتحت السطح ولكن تكون النتائج صعبة التفسير.

4.6.7 طريقة زاوية الميل أو طريقة الحلقة الرأسية Dip Angle Method or Vertical Ring Method:

وفيها يقاس الإتجاه للمجال عامة، حث توضع حلقة المصدر فى المستوى الرأسى وتوصل حلقة الإستقبال بمقياس يستخدم لقياس الزاوية مع الأفقى للمستوى الذى تقع فيه عندما يبلغ الجهدالتأثيرى ذروته. تقاس اولا زاوية السمت لأدنى إستجابة لحلقة الإستقبال عندما تكون رأسية شكل (7-9) ويمكن إستخدام هذا الأسلوب الفنى إما مع تشكيل مصدر ثابت أو مصدر متحرك. عندما تفسر قياسات زاوية الميل بعناية، يمكن إن تعطى معلومات عن الموضع الأفقى، خط الإتجاه، الميل، العمق، الطول والموصلية لشريحة موصلة مدفونة.

5.6.7 طريقة سلينجرام Slingram Method:

فى هذه الطريقة تستعمل حلقات متنقلة تشابه تلك المستعملة لقياس زوايا الميل بمصدر متحرك، ولكن تقاس نسبة المركبات المتطاورة غلى المركبات المتفاوتة الطور للجهد التأثيرى



شكل (7-9): طريقة زاوية الميل أوتشكيل لملفات الإستقبال والإرسال للحلقة الرأسية لمسح كهرومغناطيسى، حيث نفذت القياسات على مرحلتين.

بمقياس النسب. غالبا ما تكون كلا الحلقتين فى مستوى أفقى وتستعمل واحدة أو إثنين من الترددات الثابتة مع تثبيت المسافة بين الحلقات، وعادة ما توضع خطوط اعتراضية عمودية على الإتجاهات الإقليمية. تشبه المعلومات التى يمكن الحصول عليها من قياسات سلينجرام تماما لتلك التى يحصل عليها بطريقة زاوية الميل عندما يكون الموصل شريحة ذات ميل فردى أو سلسلة رقائق متوازية وعلى مسافات متجاورة تكافئ فى الخواص الكهربية حاجزا صحيحا عرضيا.

تدخل طرق المصدر المتحرك، زاوية الميل وصندبرج فى التشكيل الجانبى الأفقى حيث تنفذ بها معظم مساحات الكهرومغناطيسية بهدف تحديد مكان المواضع الأفقية للأجسام الموصلة المدفونة أفضل من تحديد أعماقها. والمصدر الأكبر فى صعوبة تفسير معطيات التشكيل الجانبى الأفقى هو تأثير المادة الموصلة فى الصخر المجاور جانبيا لأجسام الخام المستكشفة وفى الغطاء الرسوبى الذى يعلوها. التغيرات فى الموصلية النوعية للغطاء الرسوبى يمكن أن تعطى شاذات تشابه تلك المصحوبة بأجسام الخام والتى ربما تخفى تأثيرات موصلات عميقة ذات أهمية اقتصادية.

7.7 تفسيرات نتائج الكهرومغناطيسية Interpretaiton of EM Data:

عموما يكون تفسير نتائج مجال الكهرومغناطيسية نموذج ملائم لتفسير نتئاج أنواع أخرى لمجالات الجهد. يتم هذا بواسطة مقارنة الشاذات الملاحظة مع المحسوبة أوالمقاسة المطابقة لنماذج موصلات لأشكال وأحجام ومعاملات توصيل مختلفة. يقارن التفسير الكمى الغير مباشر ببروفيل أو إثنين مختارين لشاذة مع مجموعة من البروفيلات النظرية الناتجة من نماذج مختلفة. نظريا، التطبيقات المحسوبة العائدة لموصلات متساوية تكون محدودة بأشكال بسيطة كالكرة، لوح غير محدود وشكل طباقى نصف فراغ. لحسن الحظ لايوجد اضطرار لإستخدام حلول نظرية تمانع فى إضافات تفسيرية مجمعة، طريقة النموذج للحصول على أعماق مطابقة نظرية جيدة جدا فى الممارسة.

8.7 تجارب نموذجية Model Experiments:

لإنشاء انظمة نموذجية يكون من الضرورى فهم القاعدة النظرية للقياس. ويكون من المفيد قياس متطلبات الكهرومغناطيسية (EM) فى أشكال غير بعدية (P/S) حيث P، S المجال الأولى والثانوى عند نقطة الرصد. وكقاعدة يوجد أربع معاملات شاملة لإنتائج هذا المطلب: المقاومة ρ (أوم متر)، تردد F (S^{-1})، النفاذية المطلقة μ (أوم ث/م والقياس الخطى للنموذج (الطول ℓ) (متر). من اعتبارات الأبعاد تكون اقرار مباشر بأن نسبة $P\ \ell^2 F\mu/\rho$ = غير بعدية لنظام النموذج، وهذا يعنى نظامين بنفس نسبة P سوف تعيد إنتاج نفس المطلب (P/S) بصرف النظر عن القيم الحقيقية (ρ, F, μ, ℓ).

أيضا يمكن الإستغناء عن النفاذية المطلقة، حيث يكون الإهتمام عامة بموصلات غير ممغنطة ($\mu = \mu_o$). لذلك إذا إستخدم مقياس n:1 لإبعاد خطية لنموذج الموصل ضد هؤلاء لمقياس طبقة موصلة طبيعيا تامة فى الحقل سيحصل على العلاقة الآتية

$$(\rho/F)_N = n^2(\rho/F)_M \qquad (7\text{-}12)$$

حيث N، M (الدلائل السفلية) تستخدم لمقياس موصل طبقة طبيعية كامل ونموذج الموصل بالتتابع.

تكون 200 لمعامل مقياس N نموذجية لأنظمة نماذج الكهرومغناطيسية. وهذا تابع لمعادلة (7-12) حيث أن إقلال البعد الخطى بواسطة 200 يتطلب تغير معد لزيادة فى التردد بواسطة 200 وزيادة فى التوصيل (إقلال فى المقاومة) للنموذج بواسطة 200.

عمليا، يفضل حفظ نفس التردد فى النموذج كما فى نظام مقياس المجال الكامل ($F_N = F_M$)، وهذا يسمح أكثر باستخدام نفس الأجهزة فى المعمل والحقل، وكنتيجة تبسيط المعادلة (7-12) إلى $\rho_M^2 n = \rho_N$ وعندما تكون $\eta=200$ فإن هذا يتطلب ρ_M تكون 40,000 مرة أقل مقاومة من ρ_N. هذا المطلب للوح موصل سمكه 5 مم زنك (($\rho=6\times10^{-8}$ أوم متر) سوف يكون هو نفسه لـ 1 مم سمك طبقة موصلة كاملة فى الحقل. مثال ذلك، عرق خام مقاومته $6\times10^{-8}\times200^2 = 2.4\times10^{-3}$ أوم متر، عندئذ سيكون البعدين الباعث والمستقبل 0.50 متر بدلا من 100 متر، ويدل هذا البعد على عمق 10 متر للموصل وهكذا لجميع الأطوال المتضمنة.

يحدد إختيار النماذج للألواح الموصلة الأكثر أو الأقل فلزية ($\rho\approx10^{-6}-10^{-8}$ أوم متر). ربما تستخدم ألواح فلزية من الألومنيوم، النحاس الأصفر والزنك لمحاكاة أغلب أجسام الخامات الموصلة، وتجاريا يستخدم الجرافيت والكربون ($\rho\approx10^{-4}-10^{-6}$ أوم م) لمحاكاة أجسام التوصيل المنخفضة. وقد نفذت تجارب نموذجية لتجميع منحنيات الكهرومغناطيسية المطلوبة بواسطة أغلب شركات التعدين ومقاولى الجيوفيزياء. حاليا توجد كتالوجات لمثل هذه المنحنيات لجرانت وويست Grant and West 1965، وارد Ward 1967، تلفورد وآخرين Telford et al وفيرما Verma 1977.

9.7 غموض فى تفسير الكهرومغناطيسية Ambiguity in EM Interpretation: EM

بعيدا عن الغموض الأساسى والذى يلازم تفسيرات جميع نتائج مجال الجهد، توجد بعض مشاكل معينة تسبب صعوبة فى تفسير مستقيم بروفيل الشاذة الكهرومغناطيسية. عامة، تكون أحد المشاكل الكبيرة لجميع طرق

ميل الزاوية هى التمييز بين معامل توصيل كبير والعمق البسيط لمدفون، وهذه تشكل صعوبة لبيان أيهما شاذة ترجع إلى موصل متوسط عند عمق ضحل أو موصل جيد عند عمق كبير.

فى كثير من الأحوال يمكن إزالة هذا الغموض بواسطة جعل القياسات عند ترددين مفصولين جيدا كل عن الآخر. يحسن التردد العالى مطلب الظواهر السطحية (مثل الغطاء الموصل، تركيز المياه الجوفية)، بينما يحسن التردد المنخفض تأثيرات الموصلات التحت سطحية.

أحيانا، تظهر مشكلة أخرى وهى أن غطاءات معينة (مثل الطين) تظهر كأنها موصلات جيدة كبعض أجسام الخامات التى تشكل صعوبات للتمييز بين تاثيرهما. ربما يحل هذا الغموض بواسطة عمل قياسات بنظام مصدر ومستقبل متحركين مع اختلاف أبعاد الباعث والمستقبل. تدل تأثيرات غطاء الموصل الضحل على كبر نسبى للأبعاد الصغيرة وصغر للأبعاد الكبيرة، وسوف لاتتغير تأثيرات الموصلات العميقة بدلالة مع تغير متوسط بعد الباعث - المستقبل وربما تزيد أيضا بزيادة البعد. لذلك يكون جمع الترددين وتقنيات تعدد البعد مفيد جدا فى إزالة بعض الغموض.

10.7 الإستكشاف الكهرومغناطيسى الجوى Airborne EM Surveying:

منذ بداية الخمسينات فى القرن الماضى، تزايد إستخدام المسح الكهرومغناطيسى بواسطة أجهزة محمولة جوا. وذلك بغية تحديد موقع خامات الكبريتدات. وفائدة هذا المسح الجوى هو سرعة التغطية وتوفير النفقات، ولكن المشاكل الفنية أصعب من المسح الأرضى، ومن بين هذه المشاكل:

1) المباعدة المحدودة بين المصدر والمستقبل.

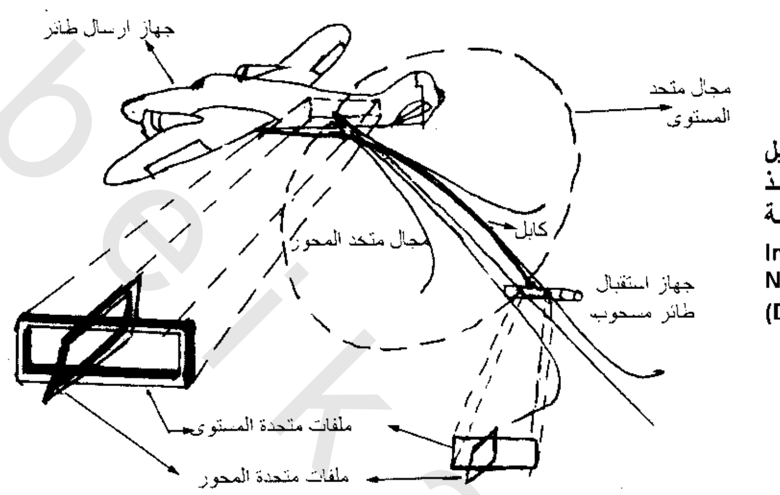
2) الحساسية الإستثنائية المطلوبة لإلتقاط الإشارات الضعيفة العائدة للسطح عندما يجب أن يكون مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية الأولية، لأسباب أمنية، على إرتفاع من 200 إلى 500 قدم فوق سطح الأرض.

3) مستوى التشويش الأعلى الذى يدخل حركة حلقة الإستقبال فى المجال المغناطيسى الأرضى.

وصف بيمبرتون Bemberton 1962 طرقا للحصول على الحساسية الضرورية فى المسوحات الجوية، حيث وضح أن الترتيب الأسهل هو وصل كل من حلقتى الارسال والإستقبال بطرفى الجناحين المتقابلين. ترتيب آخر هو أن جهاز الإستقبال مسحوب فى طائرة يتصل بطائرة الإرسال بواسطة كابل طويل. أيضا ربما تكون حلقة الإستقبال فى طائرة أخرى تطير عن قرب خلف الطائرة التى تحتوى على جهاز الإرسال. هناك نظام آخر مصمم لإرسال نبضات عابرة بطريقة متقطعة، ويقاس الإستقبال أثناء الفترات التى ينقطع عندها المجال الأولى.

تستعمل أنواع من الأنظمة للعمليات الكهرومغناطيسية الجوية، ففى طريقة تورنكفيست Tornqvist 1958 توصل حلقتى الإرسال إلى الطائرة، واحدة منها فى المستوى الأفقى والأخرى فى المستوى الرأسى. تسحب حلقتى الإستقبال من نفس الطائرة أو من طائرة ثانية توجه فى نفس الإتجاهات المناظرة. يبين شكل (7-10) هذا الترتيب كما طبق بواسطة الشركة الدولية للنيكل International Nickel Company. ترسل حلقتى الإرسال مجالات مغناطيسية مترددة لنفس التردد والسعة، ولكنها متعامدة الطور وبهذه الطريقة يتولد مجال مغناطيسى دوار. يسجل الفرق بين الإشارة من عنصر إستقبال واحد مزاح فى الطور بزاوية 90° بالنسبة للآخر بواسطة

مسجل، فإذا لم يكون هناك موصل أسفل الطائرة، فإن الإشارتين تكونـان متطـابقتين، لدرجـة أن الفرق بينهمـا بعد الإزاحة سوف يكون صفرا، وعلى ذلك فإن أثر المسجل سوف يعرض تشويشا فقط. يسبب وجود موصل ما، مثل جسم خام فرقا بين الإشارتين، ويرصد هذا الفرق على هيئة إشارة على التسجيل. ويسجل الفرق فى السعة وزحزحة الطور برواسم منفصلة، وأى جسم خام موصل موجود أسفل الطائرة فإنه يظهر على كلا الرسمين.



شكل (7-10): ترتيب الملفات فى تسجيل كهرومغناطيسى كما نفذ بواسطة الشركة العالمية للنيكل International Nickel Company (دووست Dowsett 1970)

باستخدام طائرة واحدة، يسحب الطائر الحامل لجهاز الإستقبال على بعد 500 قدم خلف الطائرة، وأيضا لمنع إصطدام الطائر، يجب أن تطير الطائرة على إرتفاع لايقل عن 400 قدم. أما فى حالة إستخدام طائرتين يمكن سحب الطائر الحامل لجهاز الإستقبال على بعد 50-60 قدم ويمكن أيضا خفض إرتفاع الطيران إلى 300 قدم. عند هذا الإرتفاع، ومباعدة بين الطائرتين حوالى 800 قدم، يمكن اكتشاف أجسام موصلة توجد على عمق يصل 1500 قدم تحت سطح الأرض بوساطة آثار الإشارة.

من الطرق الفنية الأخرى الشائعة للاستكشاف الكهرومغناطيسى، توفيق طريقة سلنجرام للاستكشاف الجوى بأساليب فنية ذات قياس عالى الحساسية. لذلك توصل الحلقات المبثة إلى طرفى الجناحين المتقابلين (للتوجيه الراسى فى نفس المستوى)، أو للمقدمة أو لذراع بارزة من الذيل (لترتيب رأسى متحد المحور). تستخدم هذه الطريقة ترددا فرديا يتراوح من 300 إلى 4000 هرتز. نظام الدخل يسجل على ست قنوات بطريقة أنية، بحيث تمثل كل منهما ترددات مختلفة. فى حالة القياسات الأرضية، لاتكون المعلومات غالبا جيدة ما بسبب التشويش، وبالتالى فإن التفسير المحتمل ينتج بأسلوب نوعى. هذه المشكلة تعتبر مقبولة، حيث أن الهدف الأساسى لمثل هذه المساحة هو فصل الشاذات ذات القيمة الإقتصادية عن تلك التى تفتقدها، وبذلك يتم تحديد مواقع المناطق الهامة للبحث المكثف.

11.7 الإستكشاف الكهرومغناطيسى البحرى Sea Borne EM Surveying:

الفرق بين تطبيق الإستكشاف الكهرومغناطيسى الجوى والبحرى يكون كبير من ناحية القايس، فبينما تشمل المسوح الجوية إرتفاعات طيران لعدة عشرات إلى مئات من المتار بمسافات باحث يستقبل من 20-135 متر فإن نظم المسح البحرى ربما يكون له عشرات من الكيلومترات. عادة إنتشار نظم الإستكشاف الكهرومغناطيسى

البحرى يكون لمقاييس كبيرة لفحص القشرة الأرضية وتتطلب أجهزة خاصة مغلفة (شاف وآخرين Chave et al 1991). توجد أمثلة قليلة حيث إستخدمت أنظمة أرضية فى قوارب مطاطية مملوءة بالهواء ومقطورة عبر بحيرات مائية عذبة ضحلة وأنهار فى الفحوصات الهندسية.

الطرق الأساسية التى تطبق للاستخدام فى البيئة البحرية هى مجنيتو-تليورك Magneto-Telluric (MT) مقاومة مجنيتو مترك Magnetometric Resistivity (MMR) ومجال أنظمة التردد والزمن Frequency and Time-domain system (F,TDS). العامل الحرج فى جميع الجسات الكهرومغناطيسية البحرية هى أن الماء يكون موصلا للغاية ويكون أكثر توصيل من المواد الأرضية الجيولوجية عند أو تحت سطح أرضية البحر. يعتمد توصيل مياه البحر على الملوحة ودرجة الحرارة. الجزء الأعلى للرسوبيات تحت المحيط عادة تكون مشبعة بالمياه ولها معاملات توصيل من رتبة 1-0.1 S/متر. تقل هذه القيم بزيادة التحجر والتغيرات الرسوبية التى تقلل المسامية فى موضعها. تتراوح معاملات توصيل القشرة البازلتية وبيردوتيت أعلى من 0.1 S/متر عند قاعدة للرسوبيات الفوقية إلى ثلاث رتب لقيم أقل عند عمق حوالى 10 كم.

12.7 طرق تحكم مصدر الكهرومغناطيسية Controlled-Source EM Methods:

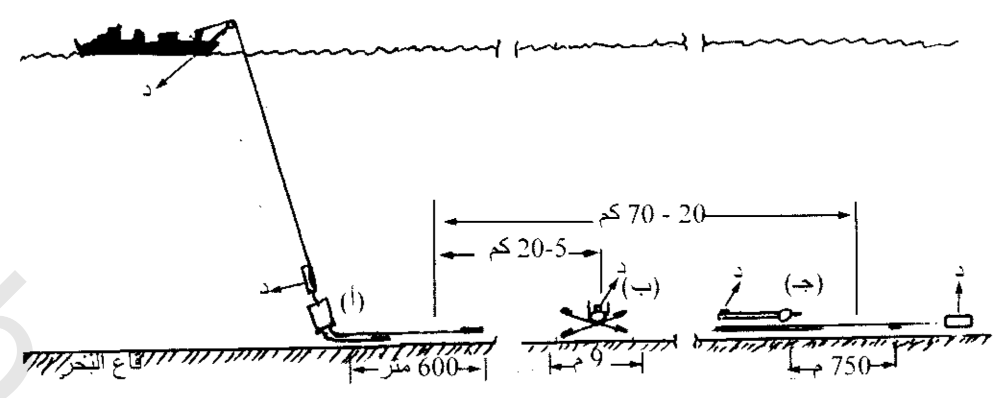
تستخدم أنظمة تحكم مصد الكهرومغناطيسية مصادر تغير زمنى كهربى ومغناطيسية ثنائى القطب لأشكال هندسية معروفة ليحث تيارات كهربية فى أوساط توصيلية مختلفة موجودة. ويمكن تحديد صيغة الكهربية أو المغناطيسية للتيار الحثى، من التى تعذر من تركيب موصل كهربى رأسى لمواد جيولوجية موجودة ممكن صنعها، يوجد أربع أنواع أساسية لمصدر-استقبال ولكن عديدة التجمع. الأربعة هى:

ثنائيات كهربى رأسى وأفقى Vertical and Horizontal Electric Dipoles (VED and HED)

ثنائيات مغناطيسية رأسية وأفقية Vertical and Horizontal Magnetic Dipoles (VMD and HMD)

فى تباين الأرض مكافئ أساسى فليتحكم مصدر EM البحرى فإن كلا من المصدر والمستقبل يغمر فى وسط موصل، والتركيب الكهربى فى كلا من ماء البحر والمواد تحت قاع البحر مؤثر فى إتمام الحث الكلى. ولذلك يجب إتخاذها فى الإعتبار فى التفسير النموذجى. فى الحالات التى تشمل مياه ضحلة مثال ذلك عبر إنحدار القارات، فإنه أيضا يجب الأخذ فى الإعتبار مكان تداخل الهواء مع سطح الماء.

سيوصف بإختصار ثلاثة أنظمة، اثنين مجال-تردد، وواحد مجال-زمن، لتوضيح التباين لتيارات الأنظمة التى تتطور. الأول يكون نظام ثنائى مجال تردد كهربى أفقى تحت بحريى (HED) والذى أنتج بواسطة معهد سكريس لعلوم المحيطات Scripps Institution of Oceanography للجساب العميقة لغلاف المحيط الصخرى. يكون المصدر كابل معزول طوله (0.5-1 كم) نهايته أقطاب صلب لاتصدأ طولها 15 متر. توضع المستقبلات المكتشفة للمجال الكهربى الأفقى على قاع البحر على بعد من 1-200 كم من المصدر كما فى شكل (7-11).

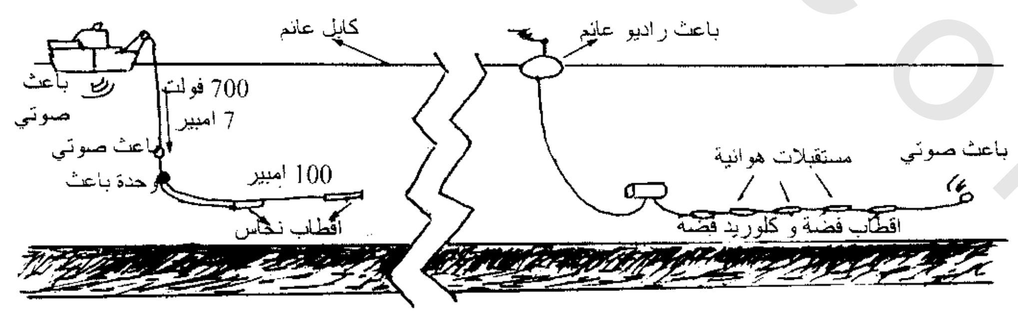


شكل (7-11): تخطيط نموذجى لثنائى قطب كهربى أفقى (HED) لتجربة جس عميق. تمد القوة من مصدر سطحى (مثل سفينة) إلى باعث (أ) أرضى بحرى خلال موصل مفرد مع توصيلية عودة مياه البحر ، يشمل الباعث هوائى عازل (فى نهايات قضيب طوله حوالى 600 متر. توضع المستقبلات على مدى 5 إلى 70 كم من الباعث. ربما تكون المستقبلات إما مسجل مجال كهربى (ELF) (ب) مع زوج صلب هوائى متعامد بمسافة امتداد 9 متر. أو (ج) مسجل هوائى كهرومغناطيسى طويل (LEM) حيث يقاس الجهد بين نهايات من 200-300 متر لسلك نحاس معزول. يستخدم أثقال صوتية ناقلة (د) لتحديد جميع التركيبات على أرضية البحر من المركب الموجودة على سطح الماء (شاف وآخرين (Chave et al 1991

يسقط المجال الكهربى (ELF) الحر على مسجل يتكون من زوج لإيريال متعامد صلب قوى طول كل منهم 9 متر إلى نهايات مثبتة من أقطاب فضة-كلوريد فضة. تنتشر مستقبلات المجال الكهربى (ELF) ما بين 5، 20 كم من الباعث.

يتكون طول إيريال مسجل الكهرومغناطيسية من 200-3000 متر لسلك نحاس معزول ينتهى بواسطة أقطاب طولها نصف متر من فضة -كلوريد فضة. ويوضع هذا الإيريال على بعد 100 كم أو أكثر من المصدر.

يكون <u>النظام الثانى</u> أيضا لمجال التردد والمنتج بواسطة معهد سكريبس Scripps لاستخدامه عبر المنحدرات القارية الضحلة شكل (7-12). يصنع الباعث من أنبوبتين نحاسيتين طولهما 7 متر وقطرهما 7 سم متصلين بواسطة 50 متر من كابل مزود بطاقة مباشرة من مركب المسح. تتكون صفوف المستقبل من سلسلة أقطاب فضة -كلوريد فضة على طول كابل ممتد لعدة مئات من الأمتار، جميعها فى تلامس مع قاع البحر. تكون مقدمة نهاية صفوف المستقبل وحدة تتصل بعائم وباعث راديو. يتصل العائم بقارب المسح بواسطة حبل عائم والذى يمكن تغيير طوله لتغير بعد المصدر-المستقبل. تسمح النقطة التى لها سطح إنبعاث رديو لمبدل الزمن الحقيقى لقياس النتائج من وحدة التسجيل الغاطسة والتى أيضا تخزن النتائج على شريط لنقلها مباشرة لمركب المسح.



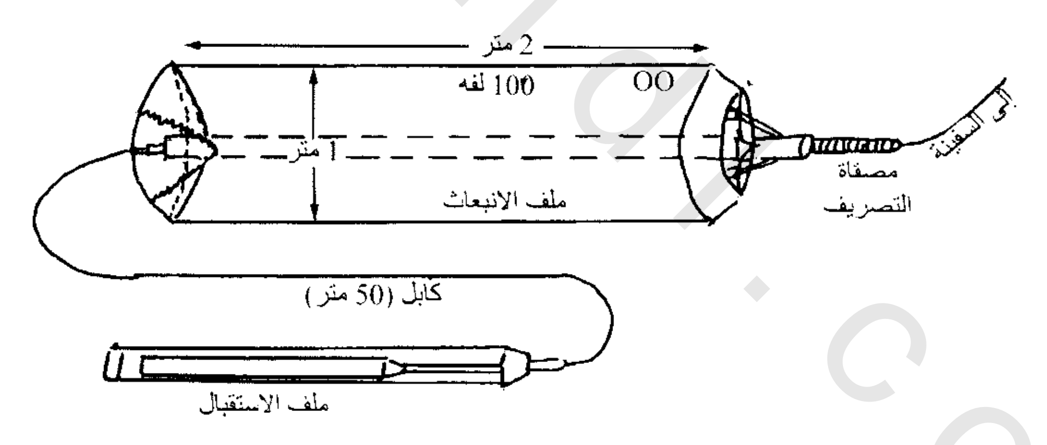
شكل (7-12): رسم تخطيطى يوضح مكونات نظام تردد-بروفيل مقطور. تقطر مصادر الهوائيات مباشرة خلف سفينة البحث وتعطى قوة بواسطة مولدات السفينة. تقطر هوائيات الإستقبال طافية خلف أجهزة الراديو وتتكون من أقطاب مصفوفة من الفضة وكلوريد الفضة. تستخدم البواعث الصوتية لتحديد المواقع (شاف وآخرين Chave et al 1991)

النظام الثالث، مجال-زمن، ثنائى قطب المغناطيسية الأفقية (Horizontal Magnetic Dipole HMD) شكل (7-13). طول الباعث الأسطوانى 2 متر، وقطره 1 متر (من ألياف زجاجية) والتى فيها يدفن بإنتظام 55 لفة سلك. يمد الباعث بتيار من بطارتى عربة موضوعة على قارب المسح. ويعكس التيار المستقطب كل 5 متر ليمد إشارات كهرومغناطيسية عابرة. يصنع المستقبل من قلب ملف حديد معدل مغلف فى أنبوبة كربونية متعددة مربوطة خلف الباعث بـ 50 متر. توضع المجموعة الكلية للباعث –المستقبل على قاع البحر ويستقر خلال كل قياس والذى يؤخذ كل 90 ثانية يحفظ تقدم قارب المسح بواسطة مد كابل إضافى خلال فترات القياس ويلف الكابل الإضافى بين نقط المسح. ميزة هذا النظام أن نظام مجال المصدر-المستقبل يكون نسبيا صغير مع تقدم تابع فى سهولة الإستخدام.

سهولة العمل يكون عامل كبير فى الإعتبار لأى من هذه الأنظمة لكى تصبح عملية إقتصادية.

13.7 المسح الكهرومغناطيسى للآبار Borhole EM Surveying:

بينما أنظمة المسح الكهرومغناطيسى (EM) الأرضى والجوى له أشكال هندسية منتظمة للمصادر والمستقبلات، فإنه فى حالة المسح الكهرومغناطيسى للآبار يضاف بعد ثالث يؤدى لزيادة عدد الإمكانيات ولكن مع تعقيدات مضافة للتفسير. يختلف مسح الآبار كهرومغناطيسيا عن تسجيلات الآبار التأثيرية، والتى تستعمل بتوسع خلال صناعة الهيدروكربون، بواسطة خاصية القدرة لكشف الأجسام الموصلة عند مسافات معينة بعيدة عن البئر. هذه الظواهر تستشعرها أجهزة تسجيل الحث فقط من خلال مرورها الحقيقى بالآبار أو خلال حقل قريب حول البئر شكل (7-14).



شكل (7-13): رسم تخطيطى لباعث ثنائى قطب مغناطيسى أفقى (HMD) والمتصل بالسفينة بكابل. المستقبل مصنوع من ملف متخالف اللف على قلب حديد وموضوع فى إسطوانة بلاستيكية للحماية ومسحوب خلف الباعث بـ 50 متر. (شاف وآخرين Chave et al 1991)

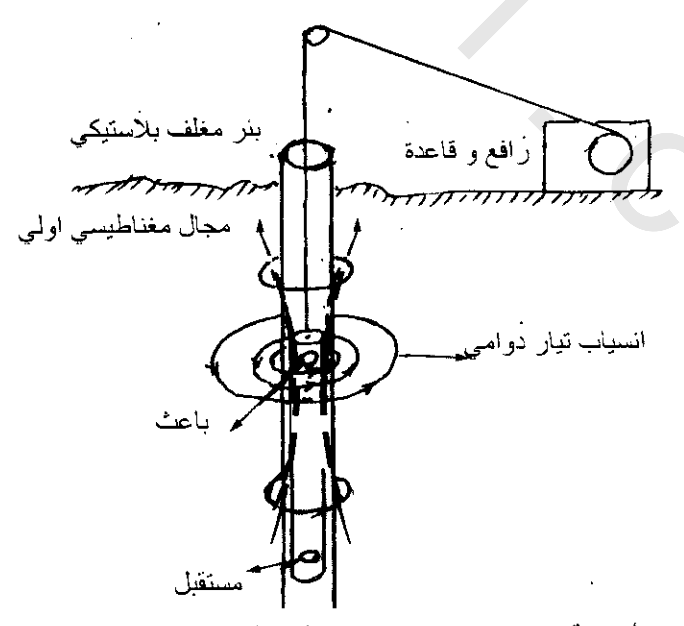
يكون أساس العمل كنفس قياسات التوصيلية الأرضية، حيث يقدر النظام لقياس توصيلية المواد خارج بئر مغلف بلاستيكى أو بئر بأقطار فى مدى 5-20 سم. وتكون القياسات عادة حساسة أكثر لسوائل الآبار الأكثر توصيلية خلال الغلاف (ماكنيل وآخرين McNeil et al 1988). يحث التيار الإضافى مركزيا حول البئر باستخدام لفة داخلية ذات بعد 0.5 متر. يمد هذا الشكل تحليل رأسى ملائم بينما يحفظ فى نفس الوقت مدى إشعاعى كاف للفحص.

يوجد ثلاثة أنواع لأنظمة المسح البئرى. طريقة ثنائى قطب. ثنائى قطب كهرومغناطيسى-طريقة باعث كهرومغناطيسى دوار وطريقة حلقة كبيرة كهرومغناطيسية وهذه الطريقة شائعة الإستخدام فى التنقيب المعدنى. قواعد الأشكال الهندسية لهذه الطريقة شكل (7-15)

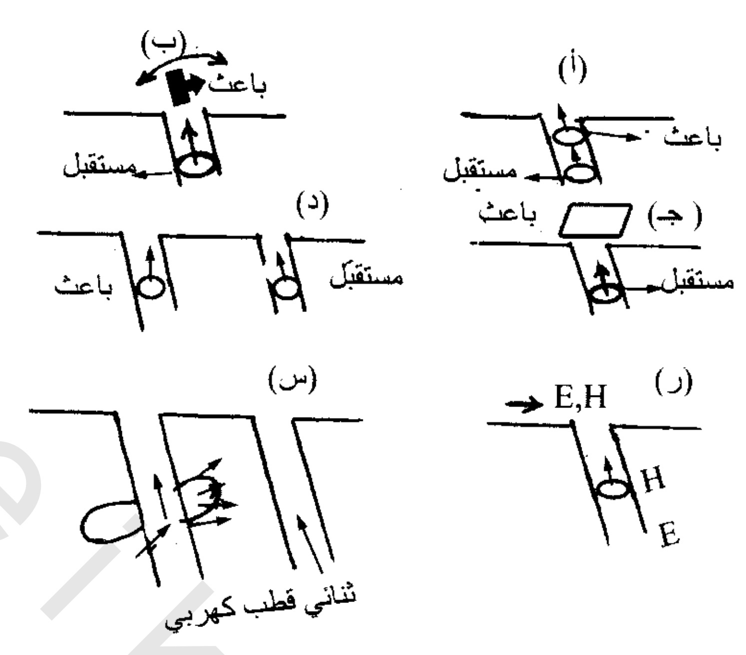
نظام ثنائى-ثنائى القطب له ملفات متحدة المحاور مفصولة بواسطة تجمع قضبان من ألياف زجاجية بباعث سابق المستقبل أسفل البئر المحفور. تؤخذ نقط القياس كنقطة متوسطة بين الباعث والمستقبل. تقاس مركبات الطور والمربعات للمجال المغناطيسى الثانوى كنسبة مئوية للمجال الأول، وذلك بنشر جهاز أسفل البئر على سلسلة من القضبان، يمكن إستخدام الطريقة فى قرب أفقى وميل أعلى الآبار، وعندئذ تحدد فقط بواسطة القدرة لحركة المسبارات خلال البئر.

يحول نظام الباعث الدوار لطريقة ثنائى القطب-ثنائى القطب، مع بقاء الباعث عند جلبه الحفار خلال المسح بينما يحرك المستقبل أعلى وأسفل البئر شكل (7-16). يتحرك مسبار المستقبل أسفل البئر فى مسافات منفصلة لعدة أمتار لكل زمن. يدار سطح ملف الباعث عند كل نقطة قياس حتى وصول نقطة الصفر فى الحساس وتسجل زاوية الميل التابعة لذلك، وتشبه الطريقة تقنية زاوية الميل السطحية.

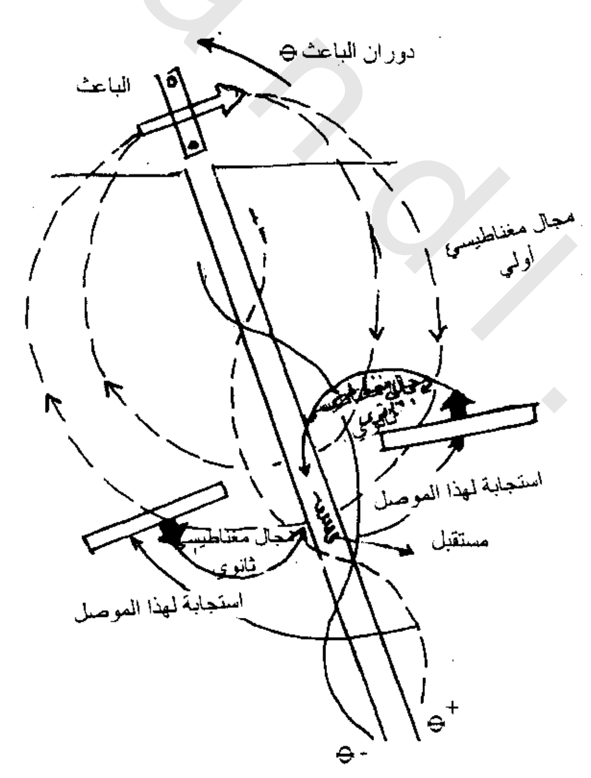
الترتيب العام لمسح الآبار يرى فى شكل (7-17) حيث تنشر حلقة الباعث عند سطح الأرض المجاور لأسفل البئر ويحرك الكاشف للحصول على البروفيل. تتراوح أبعاد الحلقة الأرضية من 100 إلى 1000 متر وتقارن لعمق البئر المحقق فيه. يكون الحل كافيا يهدف موصل أسفل السطح بواسطة حلقة أرضية واحدة فى إتصال مع بروفيلات أسفل عدد من الآبار من السطح وذلك من خلال شرفة منجم. فى المقابل فإن شكل (7-18أ) يوضح أنه إذا كان بئر واحد ملائم فإن خاصية حلقة واحدة لاتمد بمعلومات سمتيه ضرورية لتحديد الهدف. تبعا لذلك، توضع عدة أماكن حلقية حول جلب البئر شكل (7-18 ب) يمكن إستخدامها لتمد بمعلومات إضافية مطلوبة.



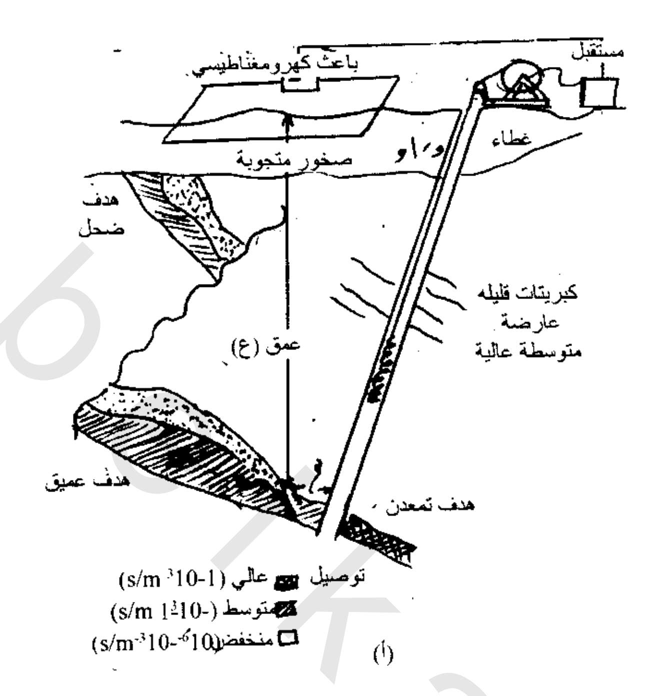
شكل (7-14): القاعدة الأساسية خلف تسجيل كهرومغناطيسية حثية لاستخدامها فى الآبار (ماكنيل McNeil 1990)



شكل (7-15): نظام كهرومغناطيسى للآبار أ) ثنائى قطب-ثنائى قطب كهرومغناطيسى، ب) باعث كهرومغناطيسى دوار (يرى على الجانب)، جـ) حلقة كهرومغناطسية كبيرة، د) ثنائى قطب بنرى كهرومغناطيسى، تغير مصدر راديو لـ (p) ر) باعث استشعارى (مثل مصدر راديو VLE لقياسات أسفل البئر لمجالات كهربية أومغناطيسية، س) إنتشار موجى من بئر لبئر



شكل (7-16): مجالات مغناطيسية منتجة بواسطة باعث دوار وهدف موصل . يدور ملف الباعث حول محور عمودى على مستوى الشكل الموصل اليمينى للبئر ينتج مركبة سالبة للمجال المغناطيسى الثانوى عند المستقبل الموجود فى البئر. دوران الباعث فى إتجاه دوران الساعة (o+) يكون مطلوب لإنتاج صفر بواسطة تعادل المجال المغناطيسى الثانوى مع مركبة الأولى ، بفرض إهمال تغير إزدواج الباعث-الموصل عندما يميل الباعث (دايك Dyck 1991)

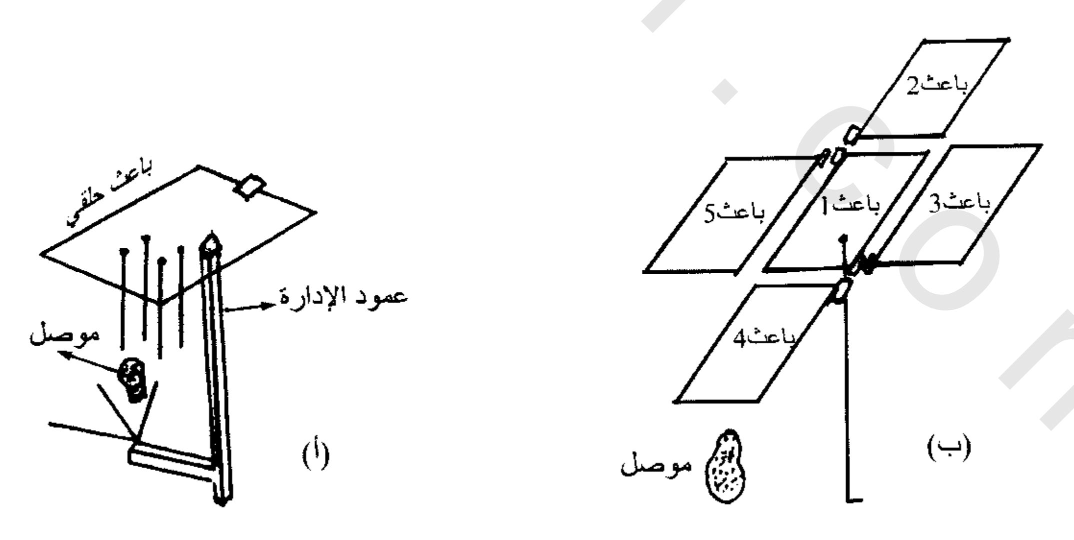


شكل (7-17): شكل تخطيطى يوضح طريقة حلقة كبيرة لحفر بئر لإستكشاف كبريتدات فى بيئة مقاومة كبيرة مثل صخور ما قبل الكمبرى. يشمل النظام على باعث، وإعادة وضوح المسافة الحرجة (س) فى الإستكشاف البئرى المحتمل شموله على هدف توصيلى عالى عند عمق (ع)، ربما يوجد أيضا أجسام أخرى موصلة (دايك Dyck 1991)

14.7 طرق التفسير Interpretation Methods:

1.14.7 طريقة البروفيل وجس العمق Profiling and Depth Sounding Method:

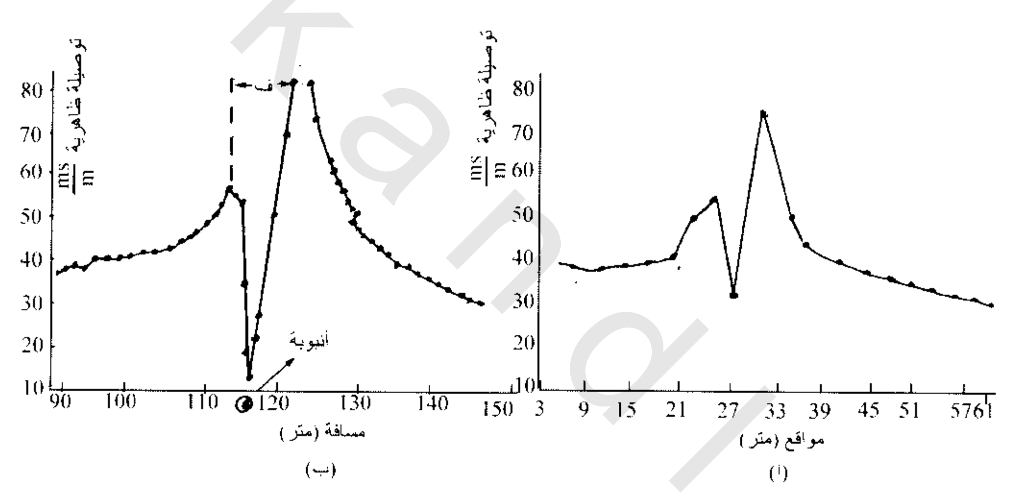
يمكن تحليل نتائج الكهرومغناطيسية بطرق عديدة مختلفة، تبعا للهدف الذى هو فيه مطلوب. يمكن رسم المعاملات المقاسة كبروفيلات أو كشبكة ثم ترسم خرائط كنتورية والتى عليها يمكن تحديد مناطق الشواذ، وهذه تقرب الإتجاه إلى تفسير كمية والدرجة الأولى.



شكل (7-18): تخطيط مسح بواعث أ) مجموعة من جلب حفر الآبار تحت الأرض ، ب) بئر مفرد معزول. البواعث من 1-5 متتابعة المواقع لحلقة إنبعاث (كرون Crone 1986)

للخرائط الاستطلاعية أو "شاذة إستطلاعية" ربما يكون التفسير الكمى لها كاف. ربما يوجد شراك معينة تحدث إهمال حيث لاتوجد تسجيلات مطابقة (الإجابة) خاصة لظواهر محددة. مثلا، يكون هناك خطأ عند إستخدام نظام ثنائى الملف (مثل جيونكس Geonics EM31)، حيث ينتج الهدف قمة مفردة فقط عبر هدف موصل رفيع، وتكون الشاذة الاستطلاعية (عالية) مشحونة بخطأ التفسير.

باعتبار بروفيل موصل ظاهرى نموذج منتج عبر أنبوبة غاز فلزية قطرها 10 سم مدفونة عند حوالى 1 متر شكل (7-19) فإنه يظهر وضوح لقمتين بانخفاض قوى أو حتى سالب حادثتين مباشرة عبر الهدف. يلاحظ أن المسافة (ف) بين قمتى الشاذة هى بعينها طول ثنائى القطب. دائما تضبط مسافة القمة الداخلية، إذا أشار الإستطلاع إلى البعد الداخلى للملف المستخدم، عندئذ يكون الهدف المسبب للشاذة عند نقطة المنتصف بين الملفات. بالإعتماد على عينات مسامية نسبة إلى مكان الهدف، فربما تكون قمم وإنخفاض الشاذة طفيفة العرض أو أضيق من طول واحد لثنائى القطب وذلك بواسطة إختيار عينة تكون مائلة نسبيا للهدف شكل (7-19ب). ربما تكون نفس التأثيرات أكثر خضوعا مع أبعاد داخلية كبيرة للملفات.



شكل (7-19): أ) شاذات توصيلية ظاهرية أفقية ملوثة بسبب عينات خاصة غير ملائمة، ب) مثالى تأثير فلزية (أنبوبة غاز) على نتائج التوصيلية الظاهرية، المسافة (ف) تساوى البعد الداخلى للملف

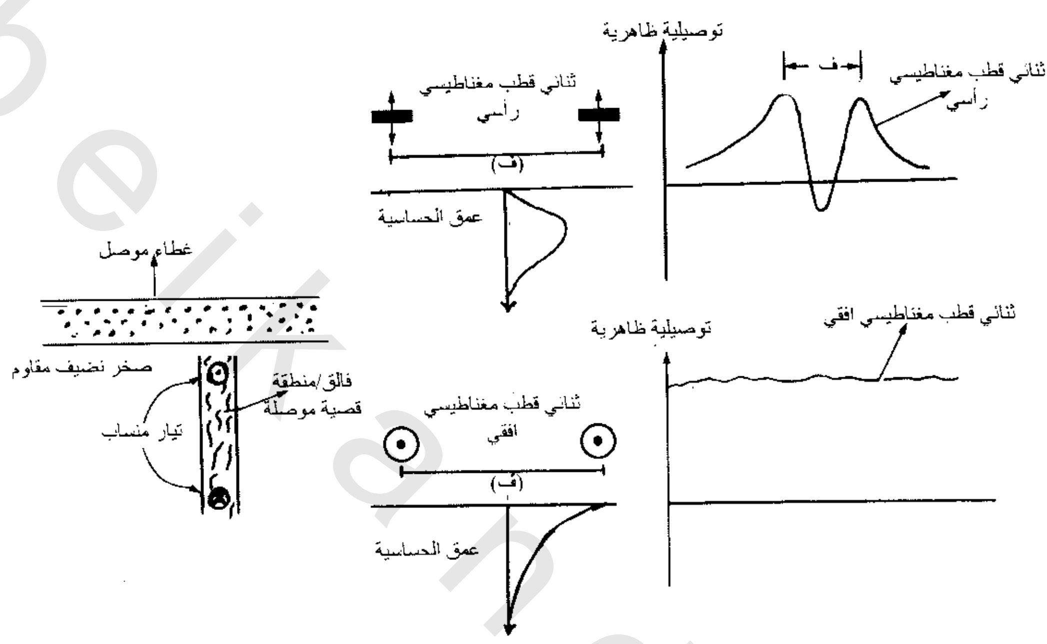
بالمثل، يعتمد جدا شكل الشاذة على كيفية إستخدام إتجاه ثنائى القطب. مثال لمخارج مختلفة من كلا إتجاهات ثنائى القطب عبر موصل راسى لنفس بعد داخلى للملف شكل (7-20).

يلاحظ أيضا تأثير ملوث خاص فى نتائج الشبكة. إذا كان تجهيز العينة خشنا جدا، فإن الشاذات الناتجة من اهداف (خاصة ثلاثية الأبعاد) ربما يكون تأثيرها ناعم ربما تخطئ الأهداف.

2.14.7 تحليلات الحاسب الآلى Computer Analysis:

أكثر التحليلات الكمية تكفل خاصة بإستخدام سوفت وير، ويمكن ذلك بواسطة تقديمين (أ) استخدام نتائج الكهرومغناطيسية لتشكيل حساب العمق عند مكان موقع مفرد & (ب) تكفل بروفيل كهرومغناطيسى على طول خط أو عبر شبكة لإنتاج قطاع جيوكهربى ذا بعدين.

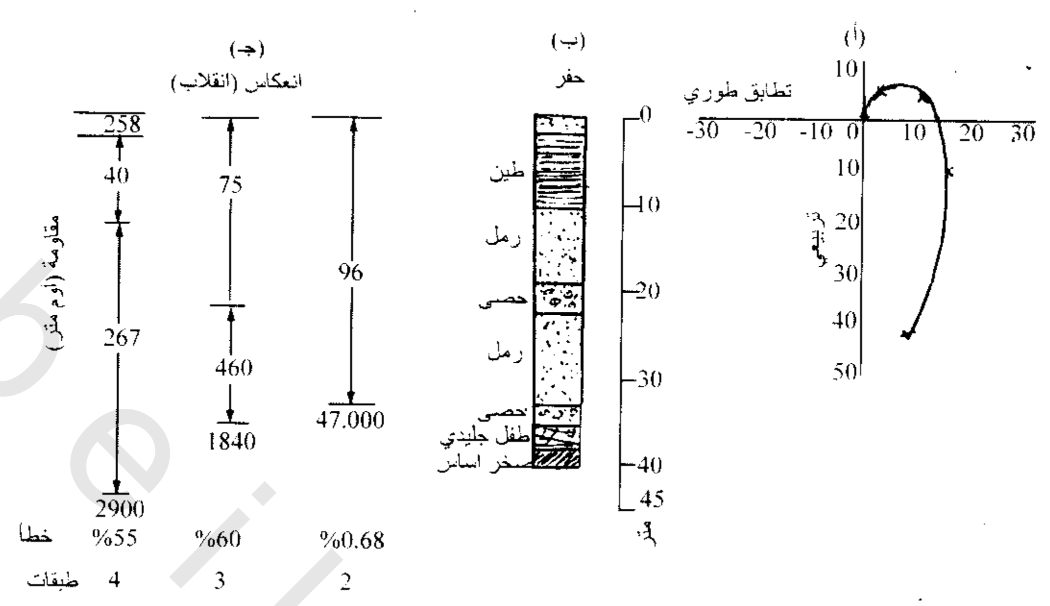
فى حالة جس عمقى، يحصل عد عدد محدد من النتائج كدالة للبعد الداخلى للملف (والذى نفسه دالة للتردد، ويتم اختراق عمق كبير باستخدام تردد منخفض وأبعاد داخلية للملف كبيرة) وتوجيه ثنائى القطب. لهذا التفسير، فإن مدى قياس التوصيل الأرضى يعمل بواسطة استخدام أجهزة (جيونكس .Geonics Ltd) ومثل هذه الأجهزة تستخدم بتوسع فى المسح البيئى والهندسى. وبنفس الطرق يمكن تفسير النتائج المحصول عليها مع أعمال أجهزة أخرى.



شكل (7-20): مثال لاختلاف فى الخروج من كلا ثنائى قطب مغناطيسى رأسى وأفقى عبر موصل رأسى لنفس بعد الملف الداخلى

إذا استخدم جهاز جيونكس Geonics Ltd M34-3 لقياس التوصيل الأرضى، والذى يكون ملائم لثلاثة أبعاد داخلية للملف واتجاهين لثنائى القطب، فإنه يعطى عدد كبير لنتائج 6 نقط حصل عليها باستخدام جهاز واحد عند إعطاء نقطة عينة. تدخل قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة عند كل بعد داخلى للملف ومع كل إتجاه ثنائى القطب لبرنامج مثل (EMIX-MM (Interpex Ltd, USA إذا استخدم APEX Max Min[1-10]. فإن عشرة أزواج لنتائج الطور الداخلى والمربع يمكن إدخالها إلى نفس السوفت وير. يستخدم البرنامج لتحويل النتائج لإنتاج نماذج طبقات أرضية والتى فيها يقدر التوصيل الحقيقى لكل طبقة والأسماك المصاحبة لها وتدخل للبرنامج. تحسب القيم الصناعية للتوصيلية الظاهرية لنموذج مختار ويقارن مع المرصودة حقيقيا. يضبط نموذج الحاسب الآلى أوتوماتيكيا حتى يكون الفرق بين التوصيلية الظاهرة المقاسة والمرصودة كافية لبعض معيار احصائى مثل خطأ RMS لأقل من 2%. يكون المخرج النهائى للبرنامج بروفيل لعمق رأسى-وتوصيلية حقيقية. وتساعد مقارنة الآبار لإنشاء نموذج أسماك الطبقات حيث يحصل على قيم أكثر حقيقة لموصلات طبقات حقيقية.

بينما النموذج المحصول عليه ربما يكون مناسب إحصائيا، فإن مسألة الجيولوجية السديدة مازالت مطلوبة. لنتائج APEX Max Min سلسلة لرسومات مطاورة لمنحنيات رئيسية يمكن إنتاجها حيث أن قيم عدد الطبقات والتوصيلية المقابلة لها وسمكها يمكن تقييمها من التوافق مع الرسومات التخطيطية المطورة المرصودة ويوضح شكل (7-21) مثال للتفسير.



شكل (7-21): إستخدام أشكال نموذج طورية تخطيطية فى تفسير نتائج كهرومغناطيسية أفقية منخفضة. أ) نتائج ثمانية ترددات كهرومغناطيسية أفقية منخفضة باستخدام جهاز APEX Max Min. ب) تسجيل بئر، ج) نتائج انعكاسات مختلفة باستخدام نموذج 2 ، 3، 4 طبقات (بلاكى Palacky 1991)

يكون إمتداد تفسير جس العمق بروفيل معكوس. بدلا من مجموعة نتائج الجسات فإنه يحصل على سلسلة من قيم التوصيل الظاهر لكل بعد داخلى للملف وإتجاه ثنائى القطب على طول مسح خط عند فترات منفصلة. يمكن عكسى بروفيل التوصيلية الظاهرية المستنتج باستخدام برنامج ميثيل لـ EMIX-MM يسمى EMIX34 PLUS (Interpex Ltd). يكون المخرج النهائى شبه قطاع جيولوجى ثنائى الأبعاد يظهر التوصيلية الحقيقية وأسماك الطبقات على طول خط البروفيل. لتجميع نتائج كافية يكون من المهم الحصول على عينات كافية لكل المكان وكدالة للعمق. ومطلوب على الأقل ثلاثة أبعاد داخلية للملفات لكلا من جسات العمق أو لإنجاز بروفيل عكسى. يمكن الحصول على نتائج إضافية مناسبة بواسطة تكملة جيونكس Geonics EM 34-3 مع EM31 وEM38. لابد من الأخذ فى الاعتبار معايرة كل جهاز عند إستخدام أكثر من نوع لنفس خط المسح للتأكد من توافقه.

3.14.7 دقة Resolution:

مثل أى تقنية جيوفيزيقية، توخذ دقة الإنجاز فى الإعتبار. مثلا، فى حالة أنظمة ثنائى الملف، تؤخذ عدة عوامل هامة لأى مسح إذا أريد أن يتم بنجاح.

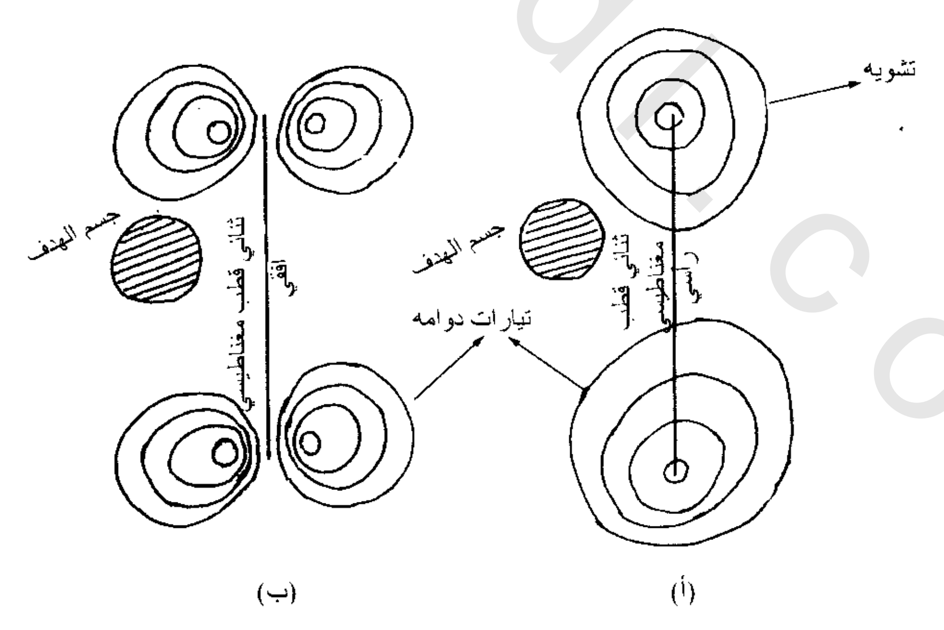
تكون جسات توصيلية العمق الأرضية والبروفيل أكثر ملائمة لتركيبات الطبقات الأفقية وتحت الأفقية حيث يكون تباين التوصيلية الرأسية بين الأفق هام. ربما، فى الجيوفيزيقية البيئية والهندسية، يزداد إستخدام تقنيات الكهرومغناطيسية على الأقل من مواقع مثالية.

المعيارية المعروضة سابقا نادرة التطبيق، ولمواد معقدة فإن المواقع ربما تكون غالبا ضجيج زائد عن التركيبات الأرضية. كلا من الأنابيب القديمة، الكابلات، المبانى، التنكات، حواجز معدنية، أعمدة إشارة معدنية ...إلخ تخفض من نوعية النتائج وتقلل من توقيتها لأى تحليل كمى، وذلك إذا كانت غير سالبة. فى بعض الحالات، يمكن ترشيح تأثير خط القوى أو الأنابيب إذا كانت الشاذة تعود فقط لهذه الظاهرة التى يمكن تحديدها بوضوح.

مثلا، تؤثر أيضا الخامات المصاحبة مع تغيرات الميل، أو هوامش محتويات المواقع فى المحاجر القديمة على نوعية النتائج. يمكن تقليل هذه التاثيرات فى مرحلة تصميم مسمى إذا كان معروف وجود هذه الظواهر مقدما.

أيضا، تكون طريقة التحليل المحتملة عامل يؤخذ فى الإعتبار لإعطاء نوع من هدف تحت سطحى. ويكون الأكثر صعوبة فى الإكتشاف عندما يحيد الهدف عن أن يكون نصف-أفقى لانهائى نصف-فراغى (مثل هذا يوجد فقط فى كتب أصلية (شواهد). مثال ذلك اعتبار حالة برميل معدنى مدفون عند 2 متر فى أى أرض مختلفة التجانس. هذا الهدف يمكن تحديده سريعا باستخدام EM31 ليعطى شبكة مسح كافية تماما. بينما فى حالة إستخدام EM34-3 فربما يختفى البرميل تماما. بالمثل، هدف موصل قطره 1 م مدفون عند 10 متر يكون غير ملائم حله بطريقة الكهرومغناطيسية إذا لم يؤخذ أقصى إنتباه ويكون الموقع تقديريا خالى من الشوشرة. أكثر من هذا مسافات المحطات لتر واحد يجب إستخدامها لوقف أى فرصة من أخذ عينة قياسية خاصة.

هناك نوع ما فى تفسير نتائج الكهرومغناطيسية يعتبر موقع الهدف التحت سطحى مع مقابلة ثنائى ملفات الأقطاب. هذا يعنى أنه إذا أدير المسح بكلا ملفين مصفوفين على طول تقاطع المسح مع باعث مقابل المستقبل ورصدت شاذات التوصيل الظاهرى فإن مصدر هذه الشاذة ربما لايقع حقيقى فى خط التقاطع ولكن على أحد جوانبه شكل (7-22) هذا يجعل من الصعوبة الكبيرة تعيين مكان هدف التحت سطحى بدقة مثل مدخل المنجم. لهذا السبب فإنه غالبا لاتتفق مكان شاذة التوصيلية الظاهرية بالضرورة مع شاذة المغناطيسية التى تظهر من نفس الهدف الفلزى الموصل. يمكن أن يؤدى هذا الإتفاق لتفسير خاطئ وتختفى الظاهرة. للمساعدة فى تحديد تغير جانبى فى حالات أرضية يكون الإسترشاد لبعض المواقع لتدوير جهاز ثنائى الملف من كونه محاذى لجانب عريض.



شكل (7-22): رسم يوضح الإختلاف فى التيارات الدوامية (منظر مستوى) أنتج بواسطة ثنائى قطب مغناطيسى رأسى (أ) ، وأفقى (ب) (ستوير Stayer 1989) . الهدف الموصل (أو المقاوم) فى وسط مقاوم (أو موصل) سوف يشوه التيارات الدوامية حتى إذا كان بعيد عن قطاع خط المسح

فى حالة EM31 يجب أن يتذكر الراصد بأن الجهاز لـه مطلب زمنى دقيق إذا إختلفت التوصيلية الظاهرية بين إتجاهين، لذلك يسمح باستقرار الجهاز لتصحيح القيمة قبل التقدم لقياس محطة تالية. إذا تمت قياسات التوصيلية الظاهرة بسرعة شديدة، بينما الجهاز يستقر، فإنه يحصل على قيم غير صحيحة، لذلك تنخفض قيمة المسح الكهرومغناطيسى الكلى.

15.7 تطبيقات وحالات سيرية Applications and Case Histories:

1.15.7 تحديد أجسام الخامات Location of Ore Bodies:

تعتبر طريقة الكهرومغناطيسية من أهم الطرق للتنقيب عن رسوبيات المعادن. وقد كانت هذه الطريقة فعالة فى تحديد كثير من أجسام الخامات الإقتصادية (فرسكشت وآخرين Frischknecht et al 1991). أمثال رسوبيات فارو، يوكون، أو نتاريو Faro deposit, Yukon, Ontario، ومنجم كدكربك، أونتاريو Kidd Greek Mine, Ontario.

عادة لاتملك نتائج الكهرومغناطيسية تشخيص ما إذا كانت الأجسام الموصلة إقتصادية أم لا. مثال ذلك، صعوبة التمييز بين أجسام الفحم، جرافيت أو أجسام كبريتيدية نقية على قيم التوصيلات فقط. تبعا لذلك تستخدم تقنيات جيوفيزية أخرى، تشمل طرق كهرومغناطيسية أخرى تضاف للتفسير.

توجد عدة حالات سيريه تصف المدى الواسع لطرق الكهرومغناطيسية فى البحث المعدنى وعدد آخر وصف جيدا بواسطة فيرشكنشب وآخرين Frischknecht et al 1991. من المهم ملاحظة أن المطلوبات الجيوفيزيقية الملائمة فى بيئة جيولوجية واحدة تكون غير ضرورية بالضبط بالمثل فى مناطق أخرى، فمثلا المطلوبات الجيوفيزيقية المعنية بواسطة خليط معدنى مستقل والتركيبات المصاحبة الموجودة عند الموقع المعطى، فى بعض حالات أخرى ربما يكون غير ملائم لمواقع جغرافية مستقلة.

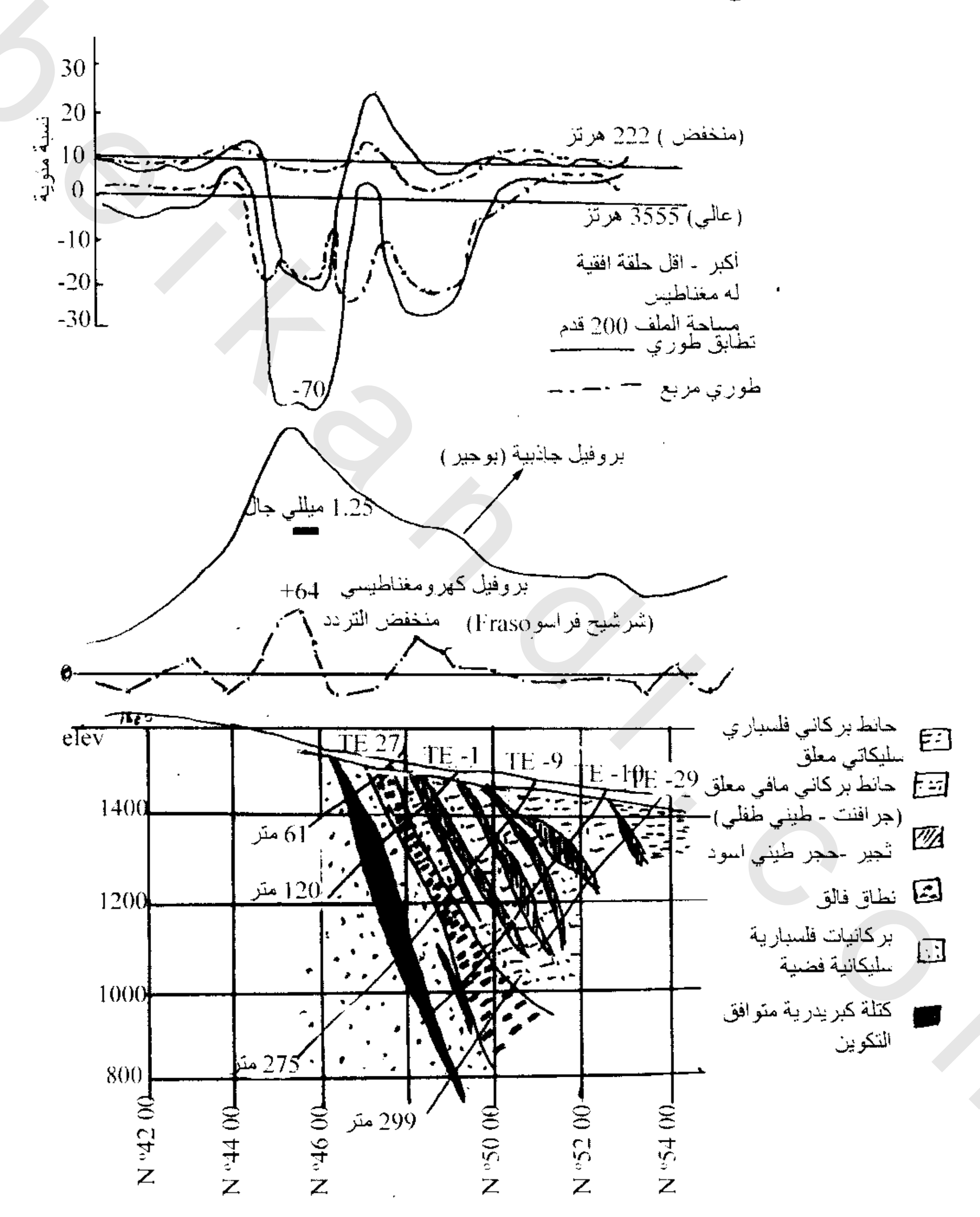
بعض الأمثلة الحقلية Some Field Exmaples:

1.1.15.7 المثال الآتى يوضح التقريب المطلوب للتفريق بين أنواع الأهداف. إستخدمت طريقتى سلنجرام Slingram وكهرومغناطيسية VLF بواسطة باربور ونيورلو Barbour and Thurlow 1982 فى التنقيب لمناطق جرافيت طويلة شائعة فى نيوفوندلاند New Found Land. بالإضافة، إستخدمت طبقة الجاذبية للمساعدة للتفريق بين تواجد كبريتيدات محتملة وكتلة كبريتات رسوبية شكل (7-23). كلا من مركبات الكهرومغناطيسية التربيعية أو متطاورة الطور (يعبر عنها كنسبة مئوية للمجال الأول) تقاس باستخدام حلقة أفقية لتردد عالى وتردد منخفض (VLF, VHF). 3555 هرتز، 222 هرتز هما الترددين المستخدمين ولكن يلاحظ الإختلاف الكبير بين أنواع الأهداف على قائمة النتائج للترددات العالية شكل (7-23).

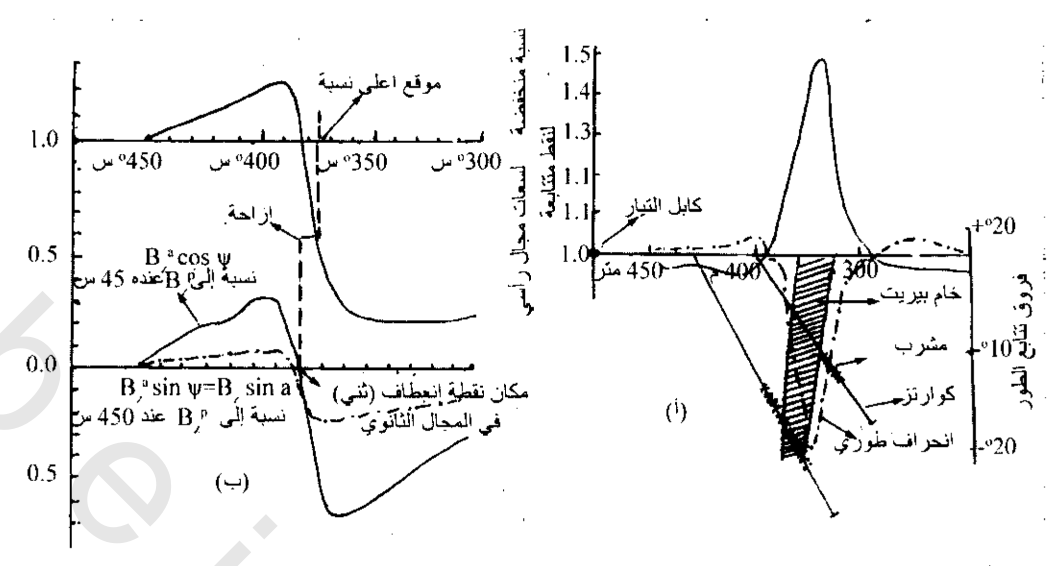
أيضا تعطى كتل الكبريتيدات قمة فى كلا من بروفيل الجاذبية وتقاطعات ترشيحات فراسر لتردد منخفض جدا VLF.

2.1.15.7 ويرى المثال الثانى كيفية أهمية معالجة مناسبة للإشارة والتى بما تحدد الهدف المعدنى بالضبط. يوضح شكل (7-24) بروفيل تورام Turam عبر جسم خام كيمهدن Kimheden فى شمال السويد Sweden (بارازنس Paranis 1991) حيث رسمت مركبتين، نسبة مخفضة (RR) (وإختلاف تتابع الطور) كدالة للمسافة وكلا المركبتين ترى شاذات موجبة مميزة جدا (نسبة مخفضة) وسالب (اختلاف

الطور) عبر ميل شديد لجسم خام بيريت. عادة، يؤخذ إتجاه التواجد لجسم الخام كتابع مع أعلى نسبة مخفضة وأقل إختلاف طور. عندما حسب المجال الثانى من بروفيل تورام Turam من شكل (7-24أ) وتحوير للمجال الأول للموقع شكل (7-24ب)، حلت النسبة الأكبر المخفضة بواسطة حوالى 4 متر بالنسبة للمكان الحقيقى للتيار كما ظهر بواسطة المجال الثانى. ربما يكون تناقص 4 متر فى المكان قليل الإهتمام لحفر ضحل، أما فى حالات الحفر العميق، فإن هذه الإزاحة تكون خطأ أو تعيين غير مناسب للهدف التحت سطحى.



شكل (7-23): بروفيلات لأكبر تردد كهرومغناطيسى وجاذبى عبر تيولكس نيوفوندلاند Tulex, New Found Lnad. ممكن تمييز كتلة الكبريتيدات عند 222 هرتز بواسطة التركيز الكبير للكبريتيدات (باربور وتيولو Barbour Thulow 1982)



شكل (7-24): أ) بروفيل تورام Turam عبر جسم خام كيمهدن Kimheden فى شمال السويد Sweden يوضح نسبة الإقلال (RR) واختلاف تتابع الطور، ب) المجال الثانوى المحسوب من بروفيل تورام فى (أ). يلاحظ الإزاحة الخفيفة فى موضع معين لأعلى نسبة أملال وكذلك نقط الإنقلاب فى المجال الثانوى (بارازنس Parasnis 1991)

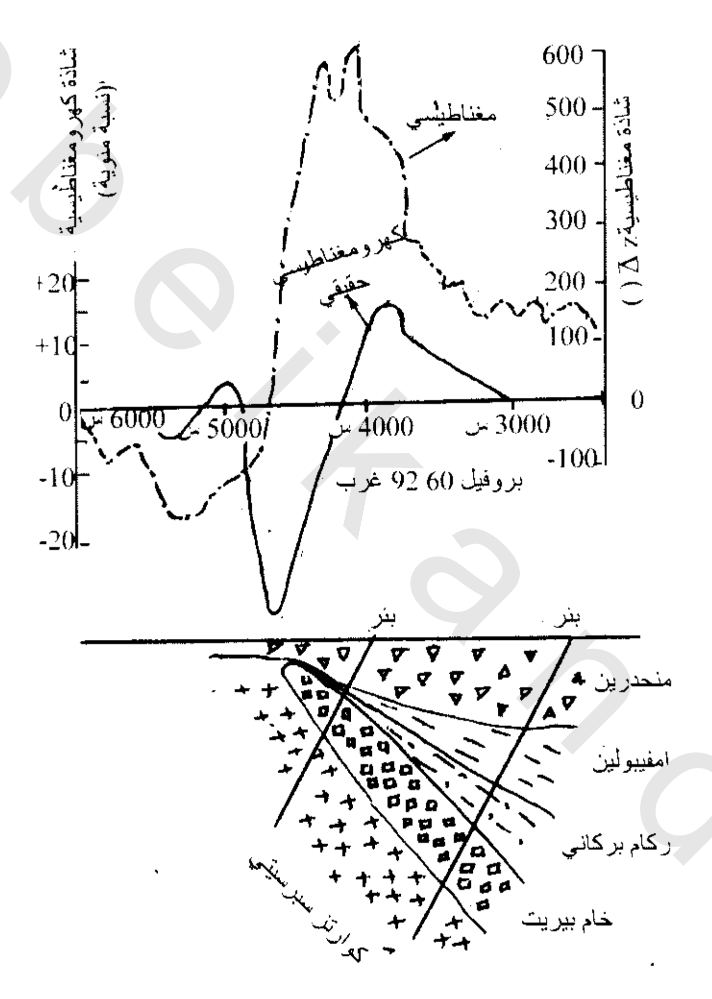
3.1.15.7 يوضح هذا المثال مساحة منجمية فى شمال السويد لإكتشاف جسم خام بيريت وثق بالمساحة الكهرومغناطيسية الأرضية (بارازنس Parasnis 1973). تم هذا المسح بنظام تساوى المستوى الأفقى بأبعاد ملف 60 متر وبتردد إثارة 3600 هرتز يرى شكل (7-25) بروفيل كهرومغناطيسى (EM) عبر جسم خام (سفانسيلى Svancele). دلت المركبة الحقيقية كما وضح سابقا على موصل جيد ممتاز (حيث أن المركبة التخيلية صغيرة جدا) والتى تشير إلى محتوى بيريت فى جسم الخام. تأكدت هذه الحقيقة من قياسات عينات أبارية والتى أشارت إلى محتوى عالى من البيريت فى جسم الخام. ويرى بروفيل المغناطيسية الرأسية تدرج حاد دالا على ضحالة عمق مصدر الشاذة.

4.1.15.7 أخذ المثال الرابع من تربة مدارية فى حزام الحجر الأخضر من باهيا بالبرازيل Bahia, Barazil (بلاكى وسينا Palacky and Sena 1979) هذه المنطقة شديدة التجويه المدارية حيث أ أغلب تسجيلات الشاذات الجوية الكهرومغناطيسية تؤدى بفكرة أنها تسببت بواسطة الغطاء الموصل. وقد تم تحديد كتل أجسام كبريتية نتيجة للتفسيرات الأرضية (التى أجريت تابعا).

يرى شكل (7-26) نتائج مقاسات الجيوفيزياء الأرضية عبر منطقة موصلة ضيقة. تم عمل المسح الأرضى بنظام مضاعفة ترددات عروة أفقية. وقد وجد إتساع محيط الجسم 30 متر ويميل للشرق. ويقدر عمق الموصل على بعد 5 متر ومعامل توصيله 10 mhos تم عمل قياسات جيوفيزيائية إضافية شملت الجاذبية والإستقطاب الحثى على نفس الخط. قورن بروفيل الجاذبية المقاس مع نموذج السد المحسوب بفرض فرق كثافة 0.25 جم/سم^3 فحصل على

تطابق جيد لسد عرضه 50 متر وعمق 10 متر. بعد ذلك، تم عمل قياسات الإستقطاب الحثى بتصفيف إزدواج القطب بمسافة بعديه (أ) = 25 متر، وجد أن التأثيرى القوى للإستقطاب الحثى 90 ميللى فولت/فولت قريب مع الموصل، ولم تسجل علامة مسئولة عن الإستقطاب الحثى الذى يعود للطبقة المتجوية. بعد ذلك خطط

لمسح جيولوجى يفسر تتابعات الصخور البركانية، وقد قطع البئر المقترح على أسس نتائج الجيوفيزياء تتابع من فتات بركانى متحول مع طبقات رقيقة من كتل البيريت وبيرهوتيت قليل. دلت التحليلات الكيميائية لعينات الآبار الإسطوانية على تلامس حافى من النحاس ولهذا كان تواجده غير إقتصادى.



شكل (7-25): بروفيل سلنجرام Slingram عبر جسم سفانسيلى Svansele – السويد (Sweden)، يرى تفسير مركبة كهرومغناطيسية حقيقية، وشاذة مجال مغناطيسى رأسى ونتائج آبار. الملف 60 متر والتردد 3600 هرتز (بارازنس Parasnis 1973

5.1.15.7 إستخدام الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة Using Horizontal Low EM:

(i) إستخدم بلاكى Palaky 1991 هذه الطريقة لفحص عبر موصل مدفون أسفل رسوبيات رباعى فى شمال-شرق أونتاريو، كندا Ontario، Canada، وذلك باستخدام جهاز Apex Max-Min (ثمانى-ترددات) ببعد ملف-داخلى 100 متر على طول بروفيل 1 كم لفراسردال Fraserda حيث قيست مركبات رباعية ومتطابقة الطور عند كل 8 ترددات. يرى شكل (٧-٢٦) مركبات رباعية ومتطابقة الطور قيست عند كل ٨ ترددات فى مجموعات رسم بيانى منفصلة. يتضح من الشكل أن المركبة المتطابقة السالبة توجد حول المحطة 600، وتبعا لذلك فإن شاذة الشكل المنخفض تظهر كنتيجة مركبة رباعية. يكون عرض هذه الشاذة عند مستوى الصفر مكافئ لبعد الملف الداخلى بالإضافة إلى عرض الموصل، تكون صبغة هذه الشاذة الخاصة نموذجية لموصل صخر أساس ضيق شبه رأسى لمعامل توصيل عالى. فى حالة التنقيب المعدنى، فإن مثل هذه الشاذة تدل على إمكانية الإشارة لمنطقة هدف،

عكس شكل الشاذة القاعى على مربع النتائج عند 14080 هرتز حول المحطة 600 تكون هذه الشاذة ناتجة من وجود غطاء سطحى رسوبى متوسط التوصيل. تتكون رسوبيات الرباعى الموجودة محليا من تبادل وحدات طفلة-رمل بسمك 37 متر مع 2 متر من طفلة فوق 8 متر رمل، 22 متر من إنحدار جليدى، 5 متر رمل.

(ii) فى تباين للمثال السابق مثل ايضا بلاكى 1991 Palaky بروفيل الكهرومغناطيسية أفقية منخفضة (HLEM) عبر مناطق قصية مغطاة بطين كثيف شكل (7-28) على طول بروفيل 12 كم جنوب كابيوسكاسنج Kapuskasing، حوالى 80 كم جنوب –غرب فراسيردال، أونتاريو Fraserdale, Ontario. دل البروفيل على منطقتين فصيتين حول محطات -375، -635. وقد مر مواقع الحفر عند محطة -500 خلال 35 متر كتل طينية كانت سعات القياس لكلا المركبتين أكبر كثيرا من المثال السابق ويعود هذا لوجود طين موصل جدا. كانت النتائج الرباعية سالبه عند أربع ترددات عالية بينما مركبة التطابق سالبة عند 14080 هرتز.

كانت الأشكال المطاورة التى حصل عليها لنتائج الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة عند ثلاث أماكن لأنواع رسوبية مختلفة والتى عندها كان اقتراح أماكن الآبار ملائما مع نتائج الآبار البسيطة كما فى شكل -29) (7. يرى الشكل المطاور للبئر 42 (والذى يقع على البروفيل) أن التوافق بين نتائج القياس (كما دلت بواسطة علامات × فى شكل (7-29 أ) والحساب المطلوب للنموذج (خط متصل) يكون غير تام. حدد سمك الغطاء بـ 35 متر (عمق صخر الأساس كما حدد بواسطة الحفر). لنموذج طبقتين، ربما ينتج عكس عدم التحديد تفسير سمك 42 متر وقيم مقاومة 51 أوم متر للطبقة العلوية و8000 أوم متر لطبقة الأساسى. يمكن أن ينسب تقدير التناقص لـ 7 متر فى العمق لتأثير الكهرومغناطيسية المنخفضة الأفقية للمناطق القصية المجاورة.

يدل الشكل المطاور المصاحب لموقع بئر 67 (على البروفيل المشاهد فى شكل (7-26) على عمق غطاء 40 متر مع مقاومة 210 أوم متر من نموذج غير محدد شكل (7-28ب)، وكان عمق الحفر لصخر الأساس (39 متر) قريبا جدا لموافقة النتائج المستنتجة. ربما، تكون مقاومة صخر الأساس فقيرة الحل.

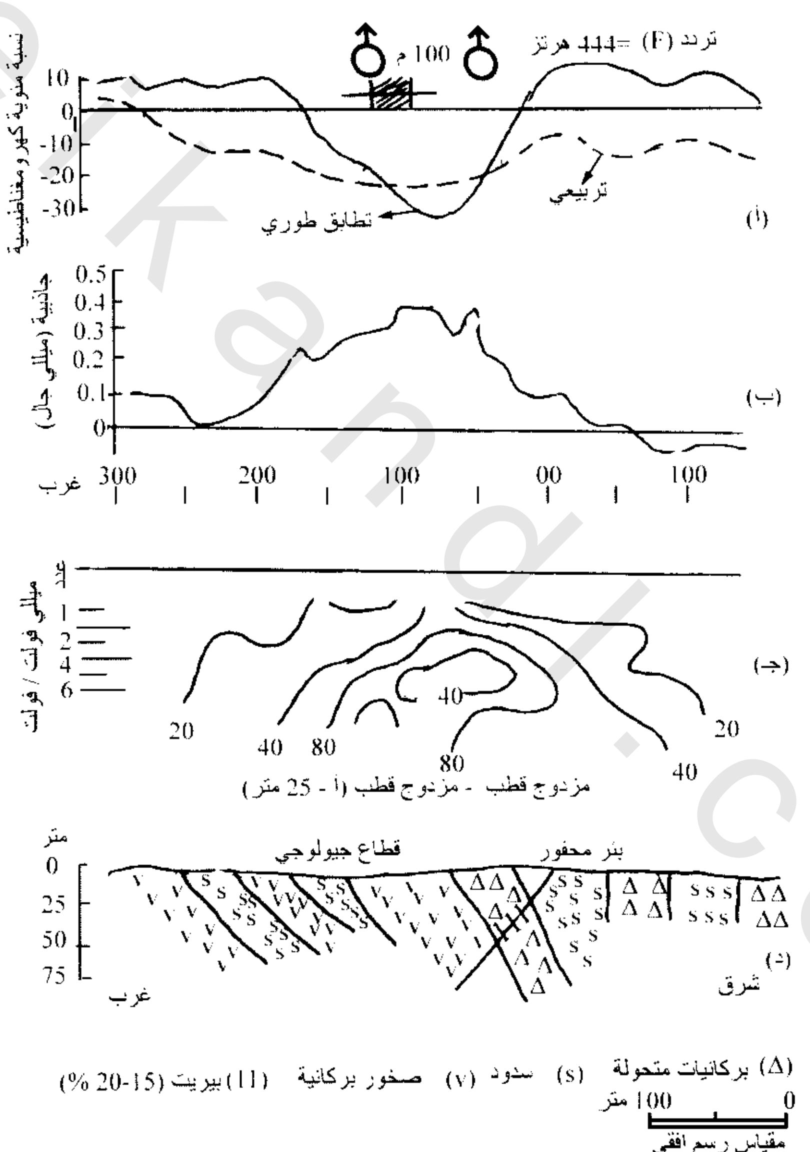
حصل على الشكل المطاور الثالث (شكل 7-28 ج) عبر رمل سميك، وعند غطاء سمكه 41 متر بمقاومة 350 أوم عبر صخر أساس بمقاومة 500 أوم متر نتج أحسن نموذج متوافق. ربما، عند قيم مقاومة كبيرة وتباين بين الطبقات صغير، فإن تحديد سمك الطبقات يصبح غير معتمد. فى هذه الحالة تم الحفر خلال 32 متر رمل وعندما انتهى حفر البئر، كان الإتجاه للتعميق قليل خلال إسكر (كثيب جليدى طولى) حيث لايتوقع طفل جليدى قاعدى.

وضحت الثلاثة أمثلة التى قدمت بواسطة بالاكى 1991 Palacky تأثيرات إستخدام بروفيل الكهرومغناطيسية الأفقية المنخفضة (HLEM) لتحديد مناطق القص والأهداف التوصيلية تحت رسوبيات الرباعى، حيث قدمت الطريقة رسومات بيانية مطاورة خاصة بأنواع رسوبيات موجودة مع مقاومات مصاحبة مختلفة. يمكن إستخدام أنواع الرسومات البيانية المطاورة للمساعدة فى التفريق بين أنواع مواد مختلفة لها فوائد واضحة فى التخريط الجيولوجى.

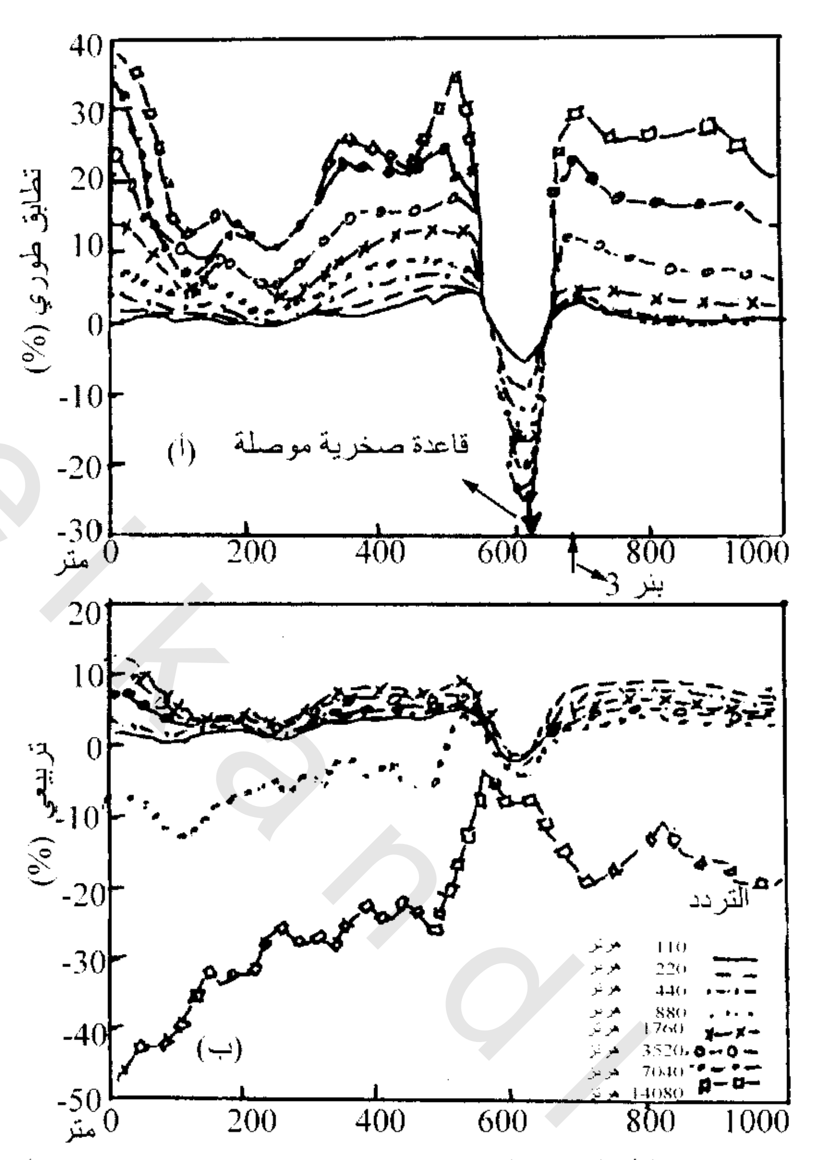
6.1.15.7 إستخدام طريقة الكهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا

Very-Low-Frequency of Electromagnetic (VLFEM):

يوضح شكل (7-30) بروفيل مأخوذ لكهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا (VLFEM) عبر رسوبيات متمعدنة عند سورتون تورس Sourton Tors بجوار تداخل دارتمور Dartmor الجرانيتى، ديفون Devon. يرى بروفيل الكهرومغناطيسية المنخفضة التردد جدا تغير مميز فى القطبية عند حوالى 210 متر على طول خط المسح. قورن هذا الموقع بمعرفة منطقة نطاق طبقى التمعدن خلال منطقة صوان/طفلة معلومة MZ. للمقارنة تم عمل بروفيلات جهد ذاتى (SP) ومغناطيسية كلية وكلا منهما أشار لشاذات ملائمة حول نفس الموقع مع هدف موصل مغناطيسى مائل لإتجاه شمال-غرب.



شكل (7-26): قيسات جيوفيزيقية ارضية عبر قطاع فى تضاريس موصلة لباهيا بالبرازيل Bahia, Brazil، أ) مسح حلقى أفقى كهرومغناطيسى، ب) جاذبية، ج) بروفيل استقطاب مهىنى، د) قطاع جيولوجى. دلت الثلاث طرق (أ، ب، ج) على نفس عدم التجانس. أخترق البئر المحفور بركانيات متحولة بأحزمة من كتلة بيريت (بالاكى وسنا Palaky and Sena 1979)



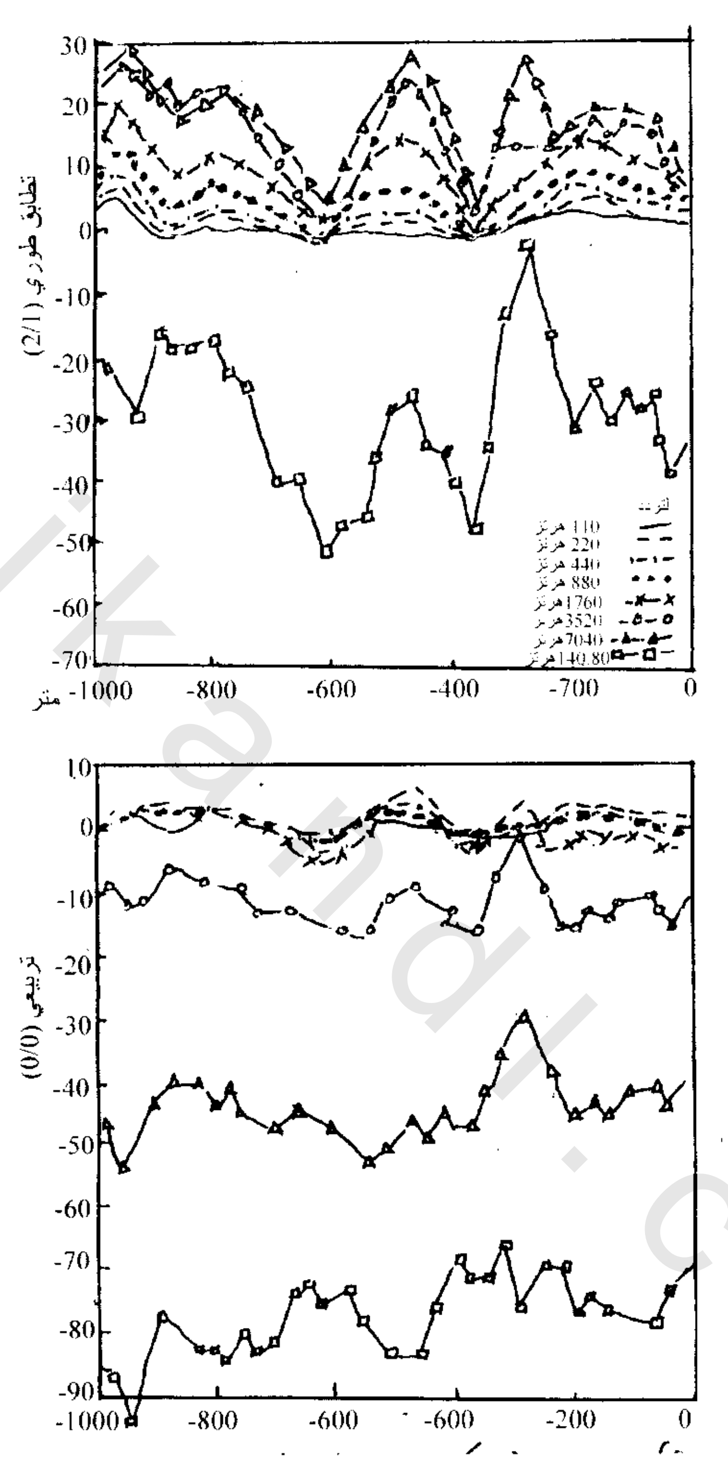
شكل (7-27): بروفيل كهرومغناطيسية أفقية منخفضة على طول 1000 متر، 20 كم جنوب فراسيردال، أونتاريو Fraserdale, Omtario، عبر صخر قاعدة موصل (المحطة 600) مغطى برسوبيات الرباعى. أ) نتائج تطابق طورى، ب) نتائج تربيعية مكتسبة عند ترددات معينة، بعد الملف 100 متر وأشير لموقع البئر 3 (بلاكى Palaky 1991)

7.1.15.7 إستخدام طريقة نظام نبضات كهرومغناطيسية عابرة أوزمن مجال مغناطيسى للكشف المعدنى

Using Method of Pulse-Transient EM (TEM) or Time-Domain EM (TDEM) Systems:

الكشف المعدنى Mineral Exploration:

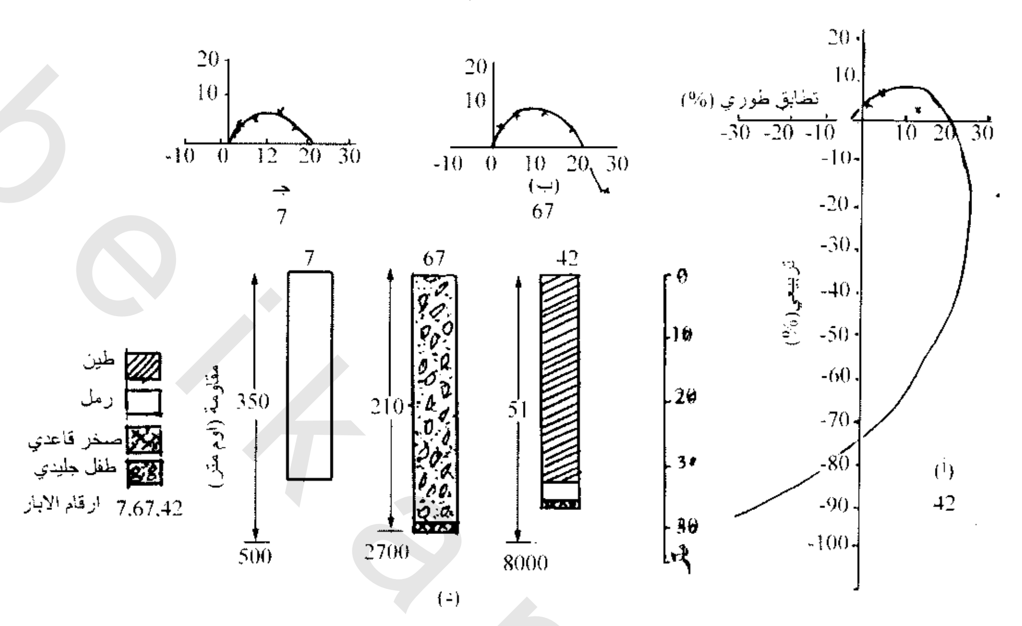
تم مسح كهرومغناطيسى عميق بواسطة كرون جيوفيزكس .Cron Geophysics Ltd لكوجيما كندا for Cogema Canada Ltd. فى حوض اثابا Athabasca Basin، ساسكا تشوان، كندا Saskiatchawan, Canada. وكتابع لهذا المسح، وفى إتصال مع



شكل (7-28): بروفيل كهرومغناطيسى أفقية منخفضة (HLEM) عبر طول 1000 متر، 12 كم جنوب كابيوستانج، أونتاريو Kapuskasing, Ontario بنطاقات قصية مختفية بطين سميك (بلاكى Palacky 1991)

تقنيات أخرى، تم الكشف عن روسبيات يورانيوم ذات رتبة عالية (كرون Cron 1991). تشمل رسوبيات اليورانيوم والتى تكون نموذجين لنوع أثابا سكا Athabaskca، على أنبوبة أفقية طويلة لمقطع عرضى أقل من 100 متر لتمعدن رتبة يورانيوم عالية والتى تحدث عند قاعدة وضع حجر رملى مسطح. عامة، تكون أنبوبة

التمعدن مصاحبة لسطح التماس العلوى لتركيب جرافيت كبير شبه راسى والتى تمثله صخور قاعدة ما قبل الأركى Archaea (الحقب الجيولوجى السحيق (الأول)). إستخدم المسح الكهرومغناطيسى لتحديد الجرافيت الموصل. منطقة التماس بين صخور القاعدة والحجر الرملى تكون متحللة لأكبر من 100 متر سمك والمكونة من طفلة كثيرة والموجودة عامة فى مناطق تمعدن اليورانيوم.

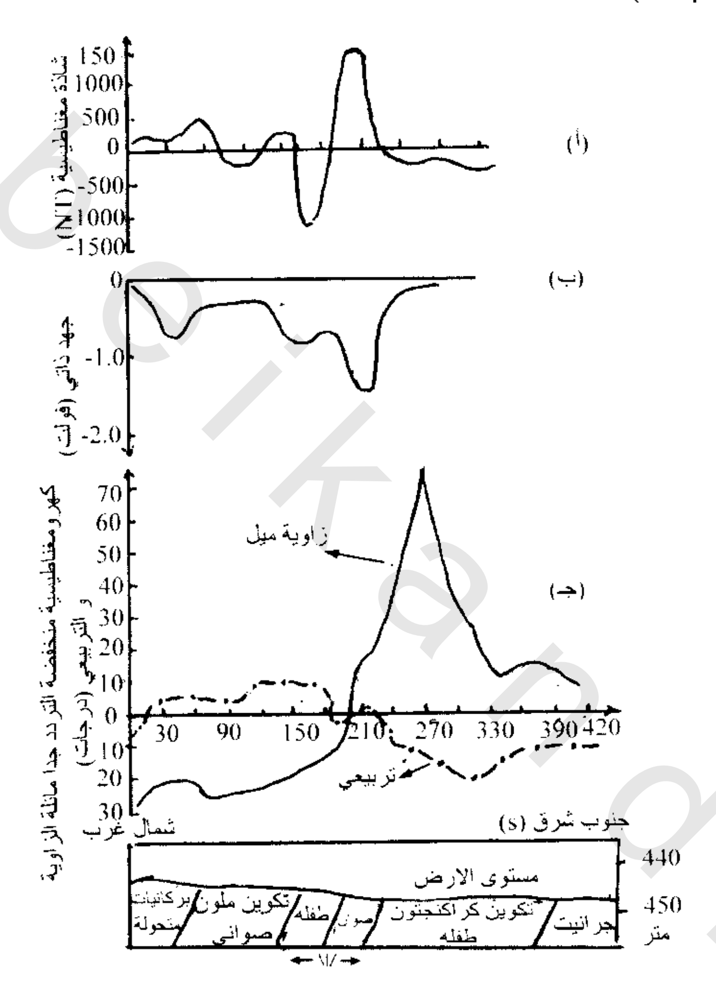


شكل (7-29): (أ- ج) رسوم بيانية طورية، (د) نتائج أبار تابعة لها، مع نماذج مستخرجة لكهرومغناطيسية افقية منخفضة (HLEM) عبر ثلاث مواقع مقابلة لأنواع الرسوبيات. أ) تمثل طير سميك مجاور لمنطقة قصى (لهذا يقدر الفرق فى العمق بين البئر ونموذج (HLEM)، ب) تمثل طفل جليدى، (ج) تمثل رمل سيمك داخل (إسكر) (كثيب جليدى طولى) (بلاكى Palacky 1991)

إستخدم فى هذا المسح حلقة كبيرة (800x400 متر) تدار بمولد قوة شكل موجى 2 كيلوات. تمت قياسات المركبتين الأفقية والرأسية بواسطة ملف إستقبال عند كل موقع مسح شكل (7-31أ). رشحت النتائج باستخدام مرشح فراسر Fraser لتأكيد إختيار المطلوب من التيار عند أعلى عمق وذلك خمس مرات لمسافة ترشيح المحطة، حيث إستخدمت مسافة 100 متر فى الترشيح لتعيين موقع الجرافيت بدقة. ويرى شكل (7-31ب) نتائج المسح المرشحة. تشير نتائج المركبة الأفقية لخاصية موقع الجرافيت الموصل الدال بواسطة عقدة لمجموعة من خطوط بيانية كما فى الشكل (7-31 ج).

ليس كل كتل رسوبيات معادن الكبريتيدات هدف ضرورى جيد للكهرومغناطيسية. كمثال، رسوبيات كتل كبريتدات نوع كيبريوس Cyprus والذى يحدث كتمعدن سليكات محللة فى وسائل حمية محللة، تمثل عوامل فيزيائية صغيرة جدا مع الصخور المضيفة. فشل إستخدام تجارب نبضات كهرومغناطيسية TEM عبر رسوبيات معدنية معروفة لإكتشاف أجسام الخامات (كوبر وسويفت Cooper & Swift 1994). حتى فى إستخدام الحث القطبى، يميز فقط إمتداد الشحن الحقيقى بين تركيبات سليكانية عالية وأهداف تمعدن. إذا وجد إمتداد شحن فإنه يكون معامل تنقيب لايعتمد عليه. للبحث عن وجود إمتدادات محلية لبيريت مختفى الإنتشار، فإنه تستخدم شاذات كهربية التمعدن لمسح قياس نموذجى مثل التى تستخدم فى التنقيب المعدنى. بما، وبالرغم من نقص النجاح

المباشر للكهرومغناطيسية النبضية فى تحديد أجسام الخامات فإنها تستخدم للمساعدة لتحديد تفسيرات جيولوجية (فوالق، تحديد أسماك ليثولوجية، إتجاهات...إلخ) والتى بدورها تستخدم لإنشاء تركيبات ثلاثية أبعاد المنطقة المعطاه (كوبر وسويفت Cooper & Swift 1994).

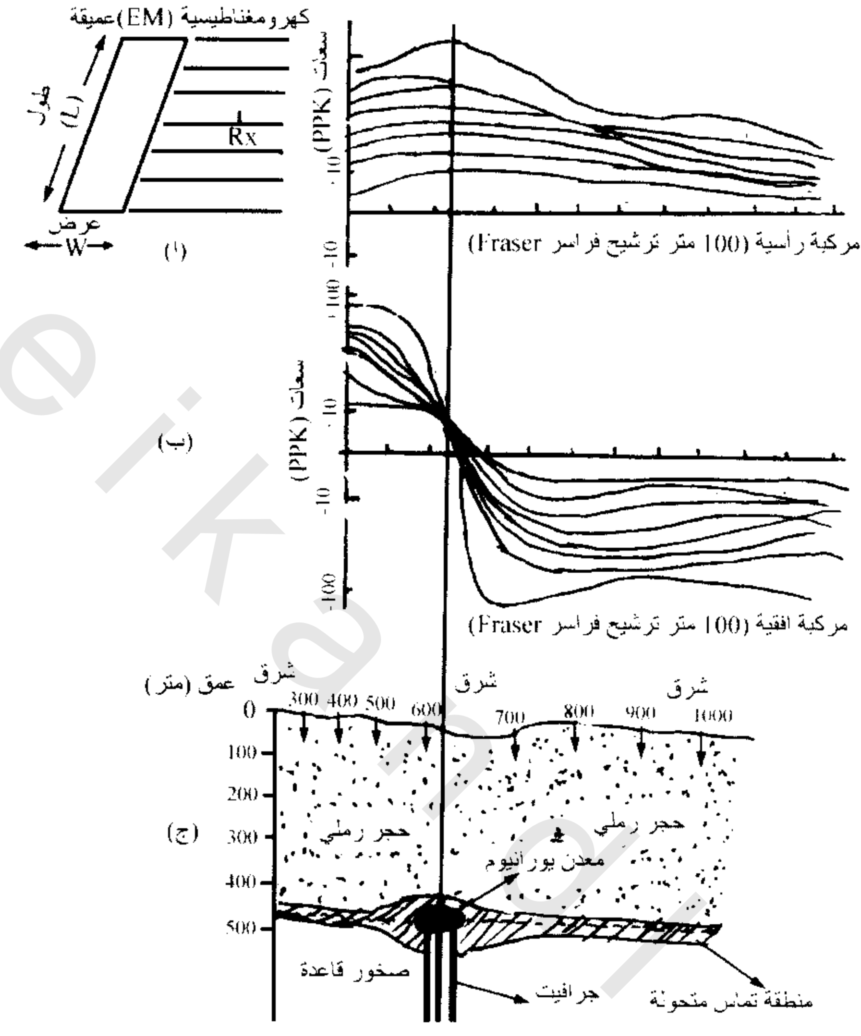


شكل (7-30): بروفيلات جيوفيزيقية مختلفة عبر رسوبيات متمعدنة عند سورتون تورس، ديفون Sourton, Tors, Devon. أ) مغناطيسية كلين (نان توسلا) . ب) جهد ذاتى وفولت، ج) كهرومغناطيسية منخفضة التردد جدا، د) قطاع جيولوجى

2.15.7 استخدام طرق الكهرومغناطيسية لاستقصاءات المياه الأرضية

Using EM Methods for Groundwater Investigations:

أمدت الطرق الكهرومغناطيسية بقوة بمجموعة من أجهزة بحث هيدروجيولوجى منذ 1970. أعيرت نفس الأجهزة للاستخدام البيئى حيث تباين معاملات التوصيل تكون كبيرة ولكن يكون سطح الأرض عائقا للاستخدامات البسيطة لطرق المقاومة الكهربية بسبب المقاومة العالية للسطح مثل الذى يوجد فى مناطق جافة جدا. فى هذه الطريقة يوجد تقريبين أحدهما لنظام الإستقصاء العام للمياه الأرضية حيث تحفظ المياه الأرضية خلال طبقات حاملة للماء. والتقريب الآخر للبحث خلال تشققات صخر الأساس والتى يكون احتواءها صغير. ولكنها خزانات ملائمة يمكن استخدامها لمياه صالحة للشرب. عامة، تستخدم طرق مجال التردد الكهرومغناطيسى لتخريط بحثى قرب السطح خلال الإستقصاء الهيدروجيولوجى. وللبحث العميق تستخدم طرق كهرومغناطيسية النبضات العابرة (المؤقتة) TEM.



شكل (7-31): أ) تشكيل مسح كهرومغناطيسى عميق، ب) سعات إستجابة لكلا من المركبتين الراسية والأفقية، ج) قطاع جرافيت موصل فى حوض أثاباسكا Athabasca عند عمق 450 متر (كرون Crone 1991)

1.2.15.7 إستخدام أنظمة كهرومغناطيسية النبضات المؤقتة للبحث عن المياه

Using Pulse-Transient EM (TEM) in Groundwater Investigations:

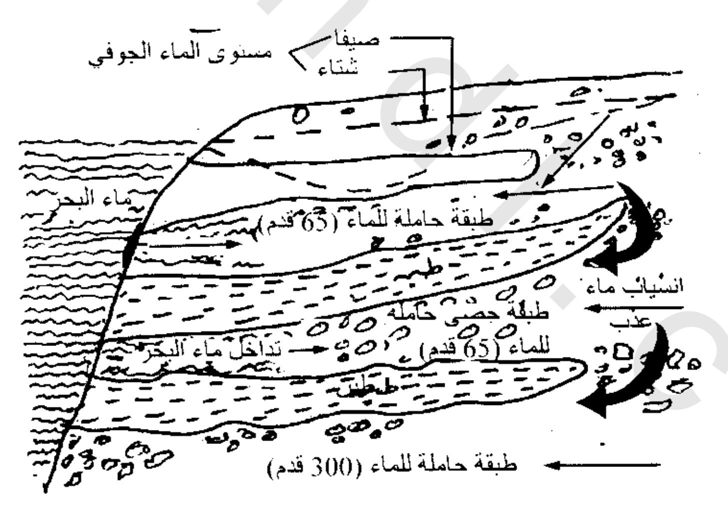
ربما أدى التقدم خلال عام 1980 لنظام (TEM) لزيادة إستخدامه فى الهيدروجيولوجى، أحدى ميزات هذا النظام أن أحجام حلقاته صغيرة وملائمه، لذلك يمكن عمل قياسات على مواقع مثل فراغات عامة مفتوحة وحقول رياضية والتى ربما يمنع حجمها إستخدام الجسات الكهربية. أكثر من هذا، فى المناطق السكانية والمحاطة بشوشرة ديناميكية عالية، فإن قدرة تجمع الإشارة للأنظمة الرقمية الحديثة تساعد على تحسين إشارة نسبة الشوشرة ونستخلصها من جميع الإشارات الهامة من خلفية الشوشرة.

زادت تطبيقات قياسات TEM فى تخريط الحد الفاصل بين المياه المالحة والعذبة فى مناطق السواحل. من أحسن الحالات السيرية وصفا للتطبيق الفى فسر بواسطة ميلز وآخرين Mills et al 1988، هويكسترا وبلوهم Hoekstra and Blohm 1990. يصف شكل (7-32) تخريط لأربع طبقات حاملة لمياه متراكبة، حيث تشمل طبقة حاملة للمياه العلوية والتى فيها المياه الأرضية ملوثة جدا بواسطة الأسمدة، 60 متر سمك طبقة حاملة للماء التى فيها يخترق الماء المالح أقل بعد، وعند زمن المسح، وجد أن الطبقة الحاملة للماء الغير ملوث بواسطة ماء مالح هى الأعمق. يسبب تتاعب تراص الطبقات الحاملة للمياه الملوثة صعوبة اختراق الطبقة الأعلى والأكثر امتدادا والمتداخلة ملحيا لإكتشاف الطبقات السفلى الأخرى. لمثل هذه النهاية يستخدم نظام TEM ذى حلقات إنبعاث 100x100 متر لتخريط عمق 60 متر طبقات حاملة للماء، ولطبقات أعمق تستخدم حلقات انبعاث 200x200 متر.

بالإضافة للتفسيرات السابقة فإنه من نتائج مراقبة الآبار بالمنطقة وستخدام نظام TEM العميق فإنه امكن تخريط لتوزيع تركيز الكلوريدات على أعماق 60، 135 متر.

2.2.15.7 تطبيقات بيئية Environmental Applications

تم عمل قياسات توصيلية فى 1987 على طول سلسلة من تقاطعات شكل (7-33) بأجهزة GCM المصنوعة بواسطة شركة جيونكس Geonics (EM31, EM34) أنتجت خرائط التوصيلية الظاهرية لكل جهاز وبعد ملفى (تشكيل ثنائى قطب مغناطيسى) شكل (7-32,ii, iii, iv). لإزالة تأثير ظواهر التوصيل القريبة من السطح فإن قيم



شكل (7-32): قطاع تخطيطى هيدروجيولوجى فى وادى ساليناز ،كاليوفرنيا Salinas, California (هويكستر وبلوهم Heokstra & Blehm 1990)

المقاومة الظاهرية الناتجة من إستخدام أبعاد ملفات 20، 40 متر عولجت بإستخدام تقنية وصفت بوساطة ماكنيل McNeill 1985. إزدوجت قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة باستخدام بعدملف 40 متر وطرحت منها قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة بإستخدام بعد ملف 20 لتعطى قيمة توصيلية ظاهرية جديدة والتى استخدمت أيضا فى تشكيل الخريطة شكل (7-32v) ويمكن ملاحظة أن الشاذات المرئية فى الخريطة من النتائج المعالجة تكون أكبر حدة فى كلا من خرائط التوصيلية الظاهرية لكل من الملفين مفردين. يرى شكل (7-32vi) التفسير النهائى

للنتائج، تدل منطقة أ على قيم توصيلية خلفية عادية، هذه القيم (m/ms 200-150) تكون عالية ولكن مناسبة لنوع تربة الموقع الإقليمى والمعروف بإحاطة ملحية عالية. توجد القيم العالية التوصيل الظاهرى (>400 m/ms) بجوار برك 1، 2 (منطقة ب فى شكل vi32-7). وفسرت الحافة الأمامية لتجمع التلوث حيث قيم التوصيلية الظاهرية المقاسة بإستخدام بعد ملغى 40 متر تنحرف إلى القيم الحلفية، هذا يدل على أن مقدمة التجمع يكون حوالى 350 متر إلى الشرق منصرف سان لويس San Luis تشير شاذة ج إلى تربة عالية الملوحة وبمقارنتها بمنطقة واضحة على خريطة جوية فى أثناء فصول ممطرة تبين أنها منطقة متقاطعة من الرمل والغرين. منطقة د جزء من تجمع ملحى محبوس بمنطقة مجاورة مباشرة لأرض صرف، وحددت منطقة منخفضة التوصيل (منطقة ر) بجوار البركة 1. هذه المنطقة لها تأثيرات لتجمع ملحى مخفف بواسطة مياه أمطار محلية كما أن مياه الصرف لم تضاف للبركة 1 خلال العامين السابقين للمسح. حيث أن منطقة س منطقة إختراق توصيلية عالية عميقة، ولذلك تكون منطقة تجمع لمياه ملوثة والتى بقيت من مياه ملحية وصرف قبل 1985. تظهر المنطقة ص والمغطاه بنباتات غير عادية بسبب ظاهرة توصيل قرب السطح وليس لها علاقة لتجمع التلوث ولكن من المحتمل أنها السبب لتمليح التربة المحلية.

3.15.7 إستخدام الكهرومغناطيسية لكشف الكهوف التحت سطحية

Using Electromagnetic Methods for Detecting Underground Cavities:

1.3.15.7 أنظمة الموجه المستمرة Continuous-Wave (CW) Systems:

أثناء البحث الكبير لتاريخ الإنسان البيولوجى فى الشرق، إستخدم على وجه التقريب مقياس التوصيلية الأرضية جيونكس Geonics EM-31 كجزء من دراسة الآثار عند باب دهرا بالأردن Bab Dhra, Jordon (فروهلتس ولانكستر Frohlich and Lancaster 1986)، وكان الغرض من العمل تحديده بيان حالات مداخل وحجر الدفن. ويوضح شكل (7-34) مثال لبروفيل توصيلية ظاهرية والذى عبره اكتشف مدخل وحجرتى الدفن. وحيث أن الغرفة شيدت بالطين، لذلك لوحظ إرتفاع طفيف للتوصيلية الظاهرية، أما بالنسبة لخلفية القيمة، رصدت مقاومة ظاهرية منخفضة حيث أن الحجرة مملوء هواء. بواسطة تخريط موقع الحفر بجهاز EM-31، عينت مناطق شاذات مختلفة. أختبر منها سبعة أماكن بواسطة الحفر المباشر، وجدت جميعها مملوءة بمداخل قبور عرضها حوالى 1.5 متر وعمقها حوالى 2 متر.

وحيث أن الكهوف كبيرة بالنسبة لعمقها ويوجد تباين كهربى جيد بين الكهوف والمواد المضيفة، لذلك فإن هذه الظاهرة يمكن إكتشافها بسهولة. ربما توجد كهوف صغيرة بتباينات قليلة فى التوصيلية مدفونة عند عمق غير ملائم للتحليل.

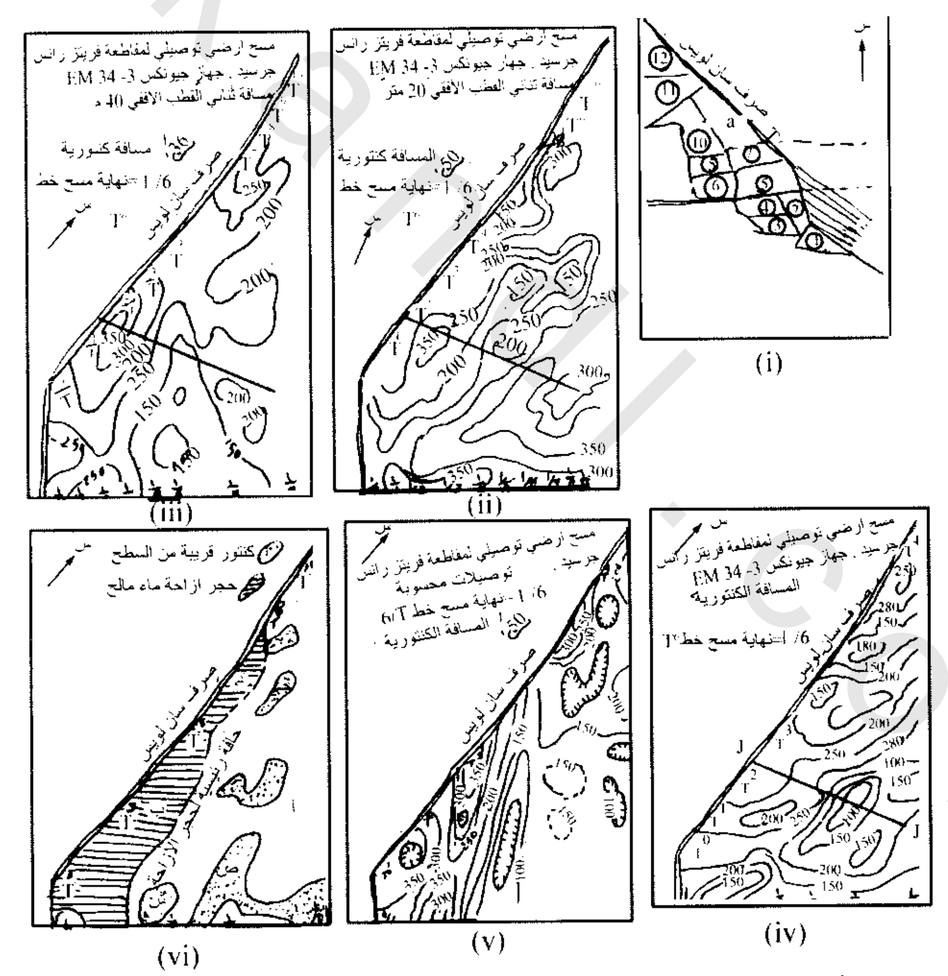
2.3.15.7 إستخدام نبضات كهرومغناطيسية عابرة لتخريط الفجوات التحت سطحية

Using Pulse-Transient EM (TEM)for Mapping Sub-Surface Voids:

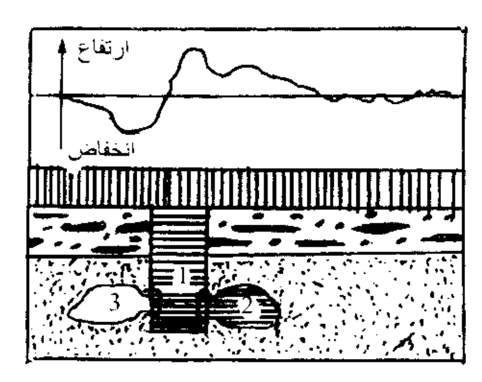
إستخدمت هذه الطريقة فى التنقيب عن سلسلة من فجوات هابطة على طول مصدر ينابيع آليس Alice والذى اقترح لإنشاء خط حديد داروين Darwin عبر حوض ويسو Wiso شمال مقاطعات استراليا Australia (نلسون وهاى Nelson and Haigh 1970). توجد الفجوات الغاطسة معروفة جيدا فى هذه المنطقة ولكن

السقوط المفاجئ لجزء من طريق بيوشانان Buchanan السريع فى فجوة غاطسة فى 1982، القت الضوء على خطر هندسى وحينئذ طلب سرعة عمل تنقيب قياسى كبير.

أختبر مدى تاثير طرق جيوفيزيائية مختلفة عبر التضاريس والتى كانت مموجه وغير منتظمة، ومغطاه بتربة لاتيراتيه (غنيه بالأوكسيدات). ومن البديهى فإن الهواء المالئ للفراغات يسبب شاذات المقاومة، ولكن التباينات الموجودة قليلة الكفاية لأن الطرق لاتعتبر عملية لمتطلبات تغطية امتداد للأرض على طول أساس طريق السكة الحديد المقترح. ربما، أشارت حوائط وأرضيات الوديان المعروفة على احتوائها بمواد غنية بالطين الموصل كهربيا. أكثر من هذا، فإن تكوينات الفجوات المطموسة المعالجة بحقن من السليكا والتى تنتج أنابيب أو تركيبات بالترشيح، فإن التجويه تسبب ثقل فتات محلل يكون أيضا مميز بالتوصيلية. تبعا لذلك فإن نوع الهدف الذى من أجله تختار الجيوفيزياء والذى لايكون أكثر وضوحا بديهيا "كحرث للأرض"، ولكن تكون التوصيلية الثانوية هى الهدف. فى الحقيقة، لاتكون TEM ملائمة للفراغات المملوءة هواء بسبب سرعة إنتشاره خلال الفراغات وتكون رتبة هذه السرعة كسرعة الضوء. بالمثل هذه الظاهرة تشبه ظواهر ترشيح السليكا أيضا والتى تسبب دلالة وشاذات ملاحظة على تأخرات الزمن بالنسبة لتخفيف السعة والمحتوى الطيفى للموجات السيزمية.



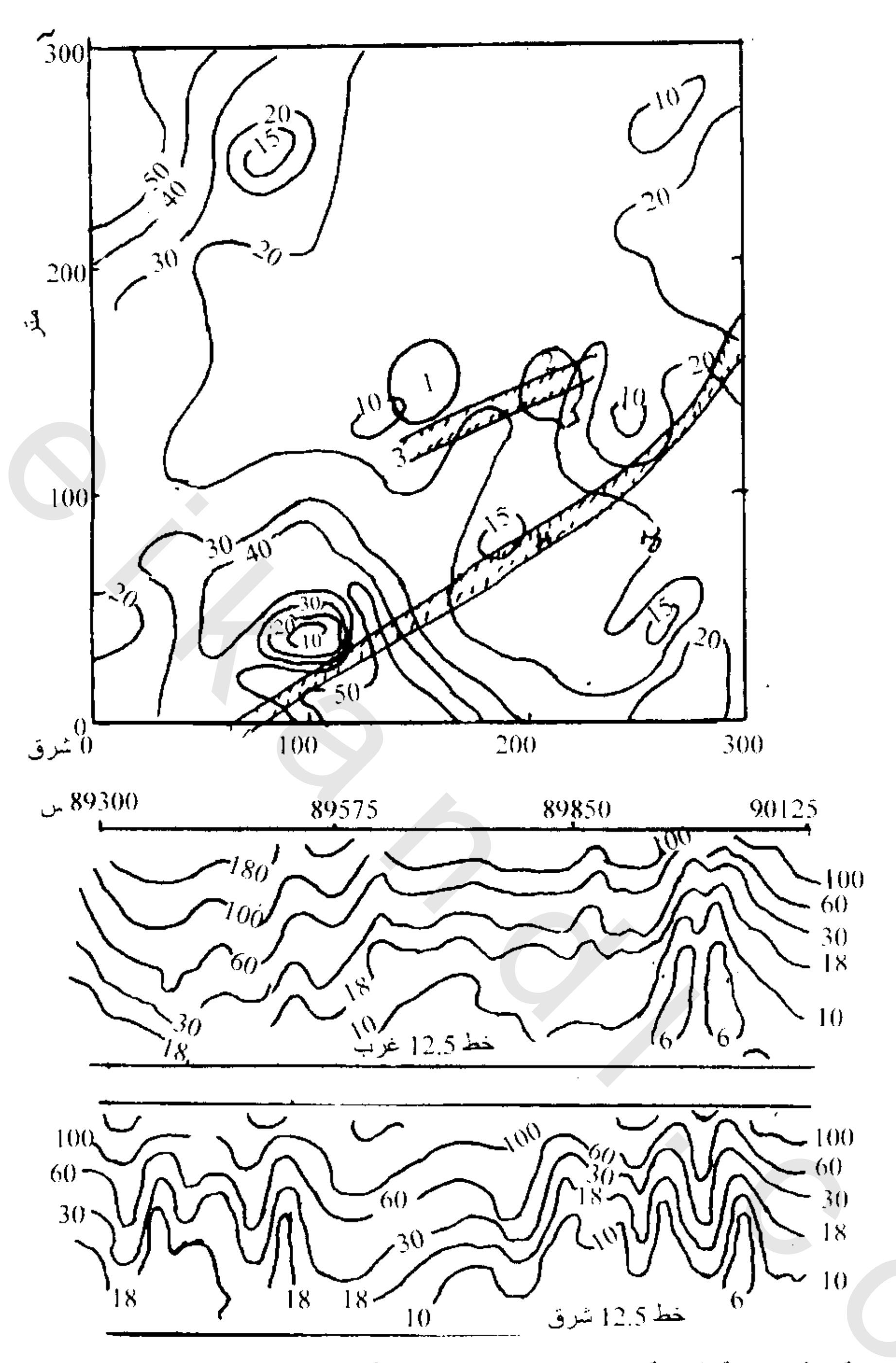
شكل (7-33): (i) خريطة الموقع ، iv-ii خرائط خطوط متساوية التوصيل، v خطوط متساوية التوصيل محسوبة، vi خريطة تفسيرية عند كستيرتون، كاليفورنيا Kasteron, California (جولدشين وآخرين Goldstein et al 1990)



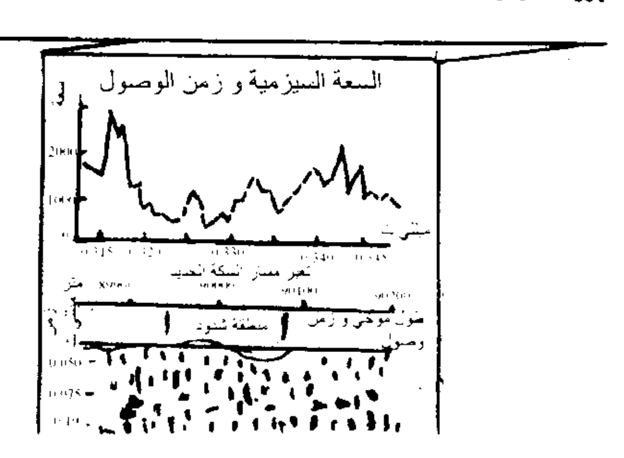
شكل (7-34): بروفيل توصيلية ظاهرية عبر مدخل مقبرة عند باب دهرا Bab-Dahra بالأردن Jurdan. يؤدى المدخل 1 إلى حجرات الدفن 2 ، 3 لرفع قيمة التوصيلية الظاهرية. يصاحب الحجرة الطينية 2 ، والحجرة 3 المملوءة هواء توصيلية ظاهرية متوسطة ومنخفضة بالتتابع (فورهلتس ولانكستر Frohlich and Lancaster 1986)

تبعا لذلك تقرر أن طريقة حلقة تطابق SIROTEM هى الأحسن للتوافق السريع مع المسح السيزمى المستخدم عبر ظواهر معينة. وقد فسر نيلسون هاى Nelson and Haigh 1990 العمل السيزمى، بالإضافة لتفسير طريقة SIROTEM من عدة إختبارات مساحية أن طريق بيوشنان Buchanan الواقع غرب طريق سيتورت Stuart السريع عبارة عن نطاق كبير لتكوين وادى وذلك بواسطة مسح SIROTEM. دلت التواجدات العامة لتفسير SIROTEM أن الجيولوجيا المحلية تتميز بواسطة عمومية تساوى توزيع المقاومة، بمقارنة ظاهرية فى مدى 50-100 أوم متر، وبميل خفيف مكونة طبقات تركيبية. فى المقابل وجد أن المساحات المتأثرة بواسطة الوديان لها تموجات مقاومة جانبية أعلى من 20 أوم مع عدم تجانس هندسى معقد ظاهر. يوضح شكل (7-35) خريطة لقيم مقاومة ظاهرية حصل عليها باستخدام نظام SIROTEM لجزء من منطقة مختبرة معروف بها وجود وادين.

يرى شكل (7-36) مثا نتائج مركبة من زوجين SIROTEM عرضين بأبعاد 25 متر ككنتورات تظهر قيم المقاومة الظاهرية. يتضح نطاق شاذة معقدة بين 90` 89° شمالا، 20` ,90° شمالا على كلا العرضين، بالمقارنة مع شكل الشاذات عبر الواديين، تميز هذه الشاذة منخفض دائرى منبطح (نوع من التضاريس النموذجية للحجر الجيرى أو الجبس بواسطة الذوبان). أيضا تتوافق شاذة SIROTEM مع تفسيرات نتائج السيزمية المنكسرة فى فترة اضمحلال السعة وتأخر فترات الزمن عبر الظاهرة الشاذة. أمدت هذه المقارنة المزدوجة لنطاق الشاذة بزيادة الثقة فى جميع التفسيرات. وقد ساعدت سلسلة من مواقع الآبار الملائمة لإختيار النماذج الجيومورفولوجية لتكوينات هذه الظواهر. أدى الإعتبار لهذه الظواهر لمعرفة هندسية كبيرة عبر امتداد كبير جدا لأرض الإقليم الشمالى باستراليا Australia.



شكل (7-35): خريطة شاذة مقاومة ظاهرية SIROTEM عبر جزء من موقع اختيار طريق بيوشنان Buchanan السريع .الأقليم الشمالى، استراليا Australia، 1، 2 منخفض دائرى لنوع من التضاريس النموذجية لحجر جيرى أوجبس بواسطة الذوبان (Sinkhole) 3، 4 طريق بيوشنان Buchanan السريع المحول، (نلسون وهاى Nelson and Haigh 1990)



شكل (7-36): توافق حلقى 25 متر لـ SIROTEM لشبه قطاعات مقاومة ظاهرية على طول خطين على بعد 25 متر لكلا جانبى خط مركزى لخط سكة حديد مقترح عند طريق بوشنان Buchanan السريع. السعة السيزيمة وقطاعات الشكل الموجى عبر مناطق شاذات STROTEM تتفق مع احتمالات لهذه المنطقة تدل على تضاريس منخفض دائرى لحجر جيرى أوجبس تكون بواسطة الذوبان

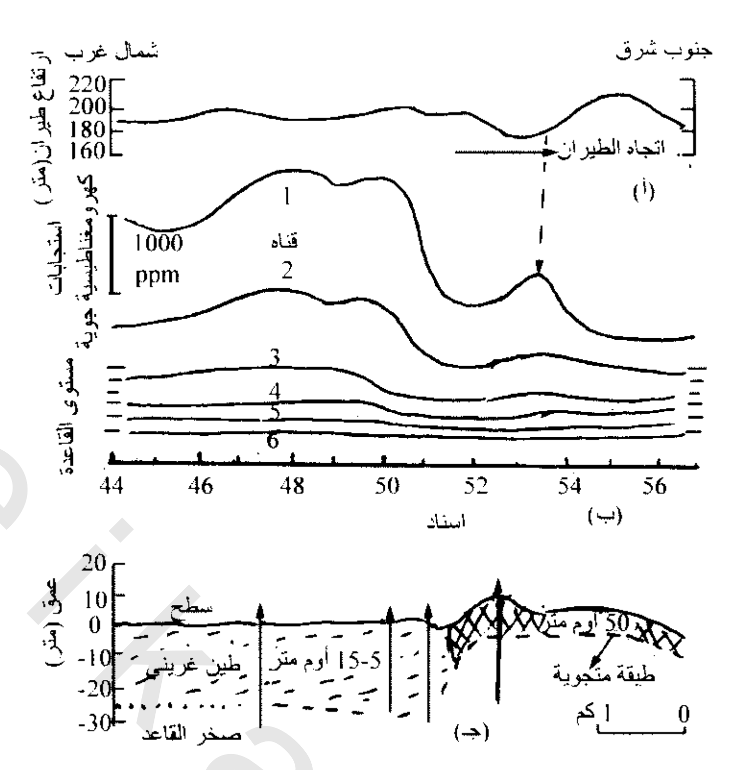
16.7 التخطيط الجيولوجي باستخدام المسح الجوى الكهرومغناطيسي

Geological Mapping using Airborne EM:

فى عام 1983 وصف هيونج وبلاكى Huang and Palaky 1991 استخدام المسح الجوى الكهرومغناطيسى لتخريط جيولوجى فى دونجلنج، منطقة أنهيو، الصين Dongling, Anhuiprovence, China. إستخدم فى هذا المسح نوع نظام Input المصنع فى الصين.

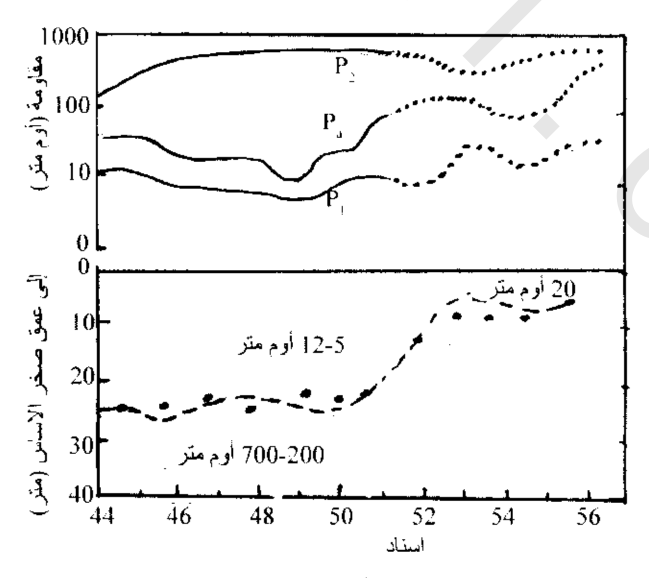
تعرف المنطقة الممسوحة باحتوانها على تمعدن رصاص وزنك المتكون بنوع الإحلال فى حجر جيرى ميزوزوى. كان هدف هذا المسح تحديد أجسام معدنية غير معروفة مسبقا وتحديد سمك الطين النهرى فى نهر ينجتز Yangtze وامتداد التجويه فى مساحات أسفل صخور الميزوزوى، وكانت مسافات خطوط المسح 500 متر مع إتجاه خط طيران شمال غرب – جنوب شرق.

يرى شكل (7-37) نتائج المسح الجوى الكهرومغناطيسى والقطاعى الجيولوجى المقابل مع خط قياس الإرتفاع، وقياس السعات عند 6 قنوات مع الإشارة لقاعدة المستويات لكل منهم، والعلامات الإسنادية كانت لمسافات 500 متر. أستنتج القطاع الجيولوجى من إستكمال نتائج آبار. يظن أن القمة الملاحظة على نتائج الكهرومغناطيسية الجويه عند الإسناد 54 للقنوات 1، 2 (أسهم) أنها بسبب التغير فى إرتفاع الطيران، وتعود شاذات الكهرومغناطيسية الجويه الظاهرية على الزمن المبكر للقنوات إلى الطين النهرى الموصل. مقاومة المواد الجيولوجية المحلية المأخوذة من جسات الكهربية الأرضية للطين النهرى لها مقاومة تتراوح من 5-15 أوم متر، والمواد المتجويه تصل مقاومتها إلى 50 أوم متر مع طبقة الميوززويك السفلية والتى لها مقاومة من مئات إلى آلاف الأوم متر. تشاهد النتائج المقابلة لنفس البيانات فى شكل (7-38). إشتقت المقاومة الظاهرية (ρ_a) من انعكاسات بيانات الكهرومغناطيسية الجويه من جميع الست قنوات بغرض نموذج متجانس نصف الفراغ. تزيد العلامة للمقاومة الظاهرية بالقرب من السند 51 حيث تكون مصاحبة للانتقال من الطين النهرى إلى ترسيبات الميزوزويك. يدل الرسم البيانى للمقاومة (المنقط) على نتائج قليلة مناسبة بسبب مستويات الشوشرة العالية خلال النظام.



شكل (7-37): أ) مسح مقياس خط إرتفاع الطيران للمسح الكهرومغناطيسى عند دونجلنج، أنهيو، الصين Dongling, Anhui, China، ب) استجابات الكهرومغناطيسية الجوية عند 6 قنوات مع مستويات قاعدة لكل قناة مع اسناد أرقام ثابتة ، جـ) قطاع جيولوجى مستنتج من نتائج الكهرومغناطيسية الجوية ومعلومات آبار مع الإشارة لمقاومات مواد ظاهرية (هيونج بلاكى Hunang and Palaky 1991)

تم عمل الإنقلاب باستخدام نموذج طبقتين لكل مقاومة موجودة بين 200-700 أوم متر لطبقات الميزوزوى، 5-12 أوم متر لطين السينوزوى النهرى وحوالى 20 أوم متر لرسوبيات الميزوزوى المتجويه، وجيمعهم فى تطابق جيد مع نتائج قاعدة التفسيرات الأرضية. أكثر من هذا، الأعماق المستخرجة من الإنقلاب (النقط) متفقة



شكل (7-38): مقاومة ظاهرية ρ_a وطبقات مقاومة ρ_2, ρ_1 أخذت بواسطة عكس نتائج الكهرومغناطيسية الجوية، من شكل (7-36). وضح تفسير عمق صخور الأساس عند كل مكان إسناد أخذت من عكس الكهرومغناطيسية الجوية (فقط) ومن الحفر (خط شرط) للمقارنة (هيونج وبلاكى Huang and Palajy 1991)

جدا مع التى وجدت من الحفر (خط مشرط) كما فى شكل (7-37). يفسر هذا المثال تأثيرات طريقة الكهرومغناطيسية الجوية المزدوجة مع عمليات انقلاب ملائمة فى معرفة تخريط الحواف الجيولوجية. توضح الطريقة مسئولية خاصية الزمن المبكر والذى يكون حساس لتباين التوصيلية فى الأسطح القريبة.

الفصل الثامن

الإستكشاف الرادارى

Radar Exploration

الإختراق الرادارى الأرضى

Ground Penetrating Radar (GPR)

1.8 مقدمة Introduction:

منذ منتصف الثمانينات (1980) فى القرن الماضى، أصبح شائعا إستخدام الإستكشاف الرادارى بتوسع خاصة خلال المجموعات الهندسية والآثار. بينما كان إستخدامه للتطبيقات الجيولوجية منذ الستينات من القرن الماضى مع تقدم مسبار صدى الراديو الصوتى لألواح الثلج القطبى. الآن، تقدمت جدا التطبيقات الرادارية للجيولوجيا.

يمكن تقسيم الإختراق الرادارى الأرضى إلى ترتيب افتراضى منفصل موضوع على أساس تردد الهوائيات. التطبيقات الجيولوجية، حيث يكون الإختراق العميق أكثر أهمية من التحليل الدقيق جدا، لذلك تكون الهوائيات المستخدمة أقل من أو تساوى 500 ميجاهرتز للتطبيقات الهندسية أو للاختبارات عديمة الهدمية (non-destructive testing (NDT)) فيكون تردد الهوائيات 500 ميجا هرتز أو أكثر ويكون نموذجى عند 900 ميجاهرتز.

2.8 تطبيقات الإختراق الرادارى الأرضى Applications of Ground Penetrating Radar (GRP)

I- الجيولوجيا Geological:

1- إكتشاف الشقوق والكهوف الطبيعية.

2- خرائط الهبوط.

3- تخريط الإجسام الرملية هندسيا.

4- تخريط الرواسب السطحية.

5- تخريط طبقات التربة.

6- إستقصاء الثلاجات الجيولوجية.

7- الإستكشاف المعدنى وتقدير المصدر.

8- تخريط سمك الفحم الخثى (خشب صخرى نصف متفحم) وتقييم الموارد.
9- إستقصاء الترب المتجمدة.
10- تحديد حواف الثلج.
11- تخريط الكسور فى صخور الملح.
12- تحديد مواقع الفوالق، الصدوع، راقات الفحم ...إلخ.
13- تخريط التركيبات الجيولوجية.
14- تخريط رواسب البحيرات وقيعان الأنهار.

II- البيئى Environmental:

1- تخريط التداخلات الملوثة.
2- تخريط وإنذار التلوثات خلال المياه الأرضية.
3- إستقصاءات الردم الأرضى.
4- تحديد أماكن خزانات الوقود وبراميل الزيت المدفونة.
5- تحديد أماكن ترسيب الغازات.
6- إستقصاء المياه الأرضية.

III- الثلاجات Glaciological:

1- تخريط سمك الثلج.
2- تحديد التركيبات الداخلية للثلاجات.
3- دراسات حركة الثلج.
4- إكتشاف سطح وقاعدة أخاديد الثلاجات.
5- تخريط مجارى المياه خلال الثلاجات.
6- تحديد سمك ونوع البحر وبحيرة الثلج.
7- تحديد إتزان كتل مافوق الثلاجات.
8- تحديد طبقات الثلج.

IV- الهندسة والإنشاءات Engineering and Construction:

1- تحليل رصف الطرق.
2- إكتشاف الفجوات.
3- تحديد أماكن التقوية فى الخرسانة.
4- تحديد أماكن الإستخدامات البشرية (أنابيب ، كابلات ...إلخ).
5- إختبار صلاحية مواد البناء.
6- إختبار الخرسانة.

V- الآثار Archaeology:

1- تحديد مواقع التركيبات المدفونة.

2- إكتشاف وتحديد الطرق الرومانية...إلخ.

3- تحديد مواقع دعائم الفتحات....إلخ.

4- تخريط ماقبل الحفر.

5- إكتشاف الفجوات (القباءات ...إلخ).

6- تحديد مواقع القبور.

VI- علم القضاء Forensic Science:

١- تحديد أماكن أهداف مدفونة (الإجسام...إلخ):

وقد طور جيش الولايات المتحدة الأمريكية الرادار الأرضى نوعا ما خلال حرب فيتنام، وحيث أنشأت أنظمة لتحديد التنقيب عن الأنفاق المخفية. بعد إنتهاء الحرب إستخدم نظام الإختراق الرادارى الأرضى للأغراض المدنية بواسطة أنظمة المسح الجيوفيزيقى.

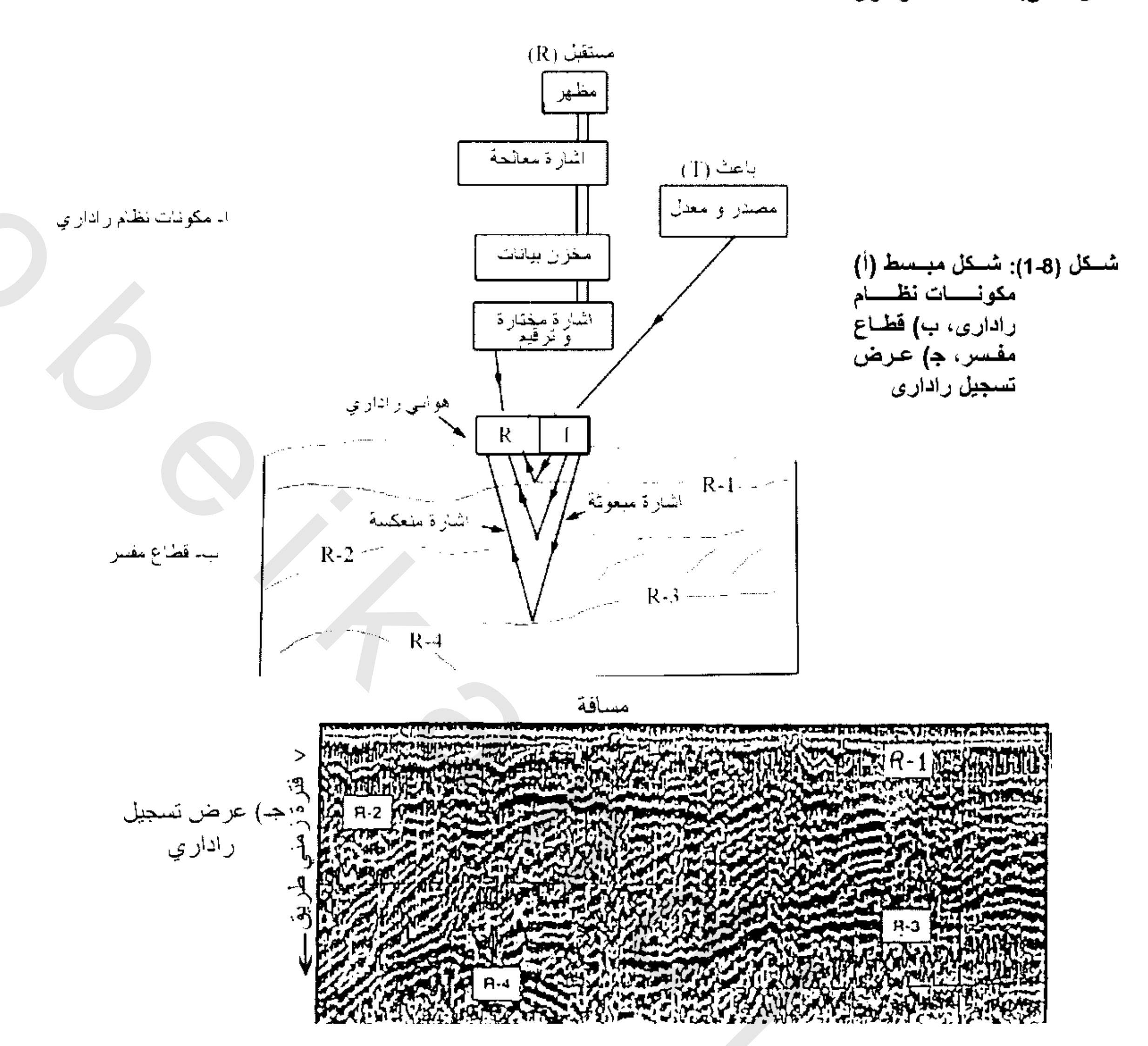
للإستقصاء الإقليمى ولمقاسات كبيرة، فإن قياسات الرادار تزداد من طائرات الهيليكوبتر والأقمار الصناعية. مثال ذلك، إستخدمت صور رادارية القمر الصناعى للتخريط التحت سطحى فى مناطق حافة لتحديد مواقع ظواهر هامة للغرض الهيدروجيولوجى، والتى يكون من الصعوبة جدا تحديدها بإستخدام المسوحات الأرضية الأساسية. مثال آخر لذلك، تحديد نظام مصارف الأنهار القديمة المدفونة الآن تحت صحراء رملية فى أفريقيا والتى برهنت أخيرا أنها مصدر هام لمياه صالحة للشرب.

1.2.8 أساسيات العمل Principles of Operation:

يتكون نظام الرادار من مولد مفرد، هوائيات إنبعاث وإستقبال، بعض الأنظمة المتطورة متصلة بحاسب آلى لكى يسهل معالجة النتائج المطلوبة فى الحقل أو لتسجيلها. ويوضح شكل (8-1) المكونات الأساسية لنظام الرادار. يولد هوائى الباعث سلسلة موجيه من موجات الراديو والتى تنتشر بعيدا كأشعة عريضة. عندما تصل موجات الراديو لأعلى سرعة (300,000 كم/نث أو 0.3 متر/نانو ثانية)* فإن زمن وصول موجة الراديو من لحظة الإنبعاث إلى هوائى المستقبل تكون من رتبة عشرات قليلة إلى عدة آلاف نانو ثانية. هذه تتطلب القياس بآلات دقيقة جدا لقياس لحظة الإنبعاث بالضبط الكافى من أجل الدقة النهائية للنظام، وذلك ليكون القياس معتدل بالمقابل لأزمنة الوصول فى الإستجابة، الهوائيات المستخدمة إما أن تكون أحادية النمط الإستاتيكى أو ثنائية الإستاتيكية. يكون نمط أحادية الإستاتيكية عند إستخدام جهاز هوائى كباعث ومستقبل بينما فى نمط ثنائية الإستاتيكية يكون هوائى الإنبعاث والإستقبال منفصلين. هناك حالات معينة يفضل فيها إستخدام ثنائى الإستاتيكية* عن أحادى الإستاتيكية كما فى قياس إتساع زاوية الإنعكاس والإنكسار (Wide-angle reflection and refraction VARR).

* نانو ثانية (نث): 10^{-9} ثانية.

* ويستخدم لهذا النمط جهاز نبطات نظام (EKKO) جهاز إختراق رادارى مصنع بواسطة (Sensor & Software Ltd., Canada)



شكل (8-1): شكل مبسط (أ) مكونات نظام رادارى، ب) قطاع مفسر، ج) عرض تسجيل رادارى

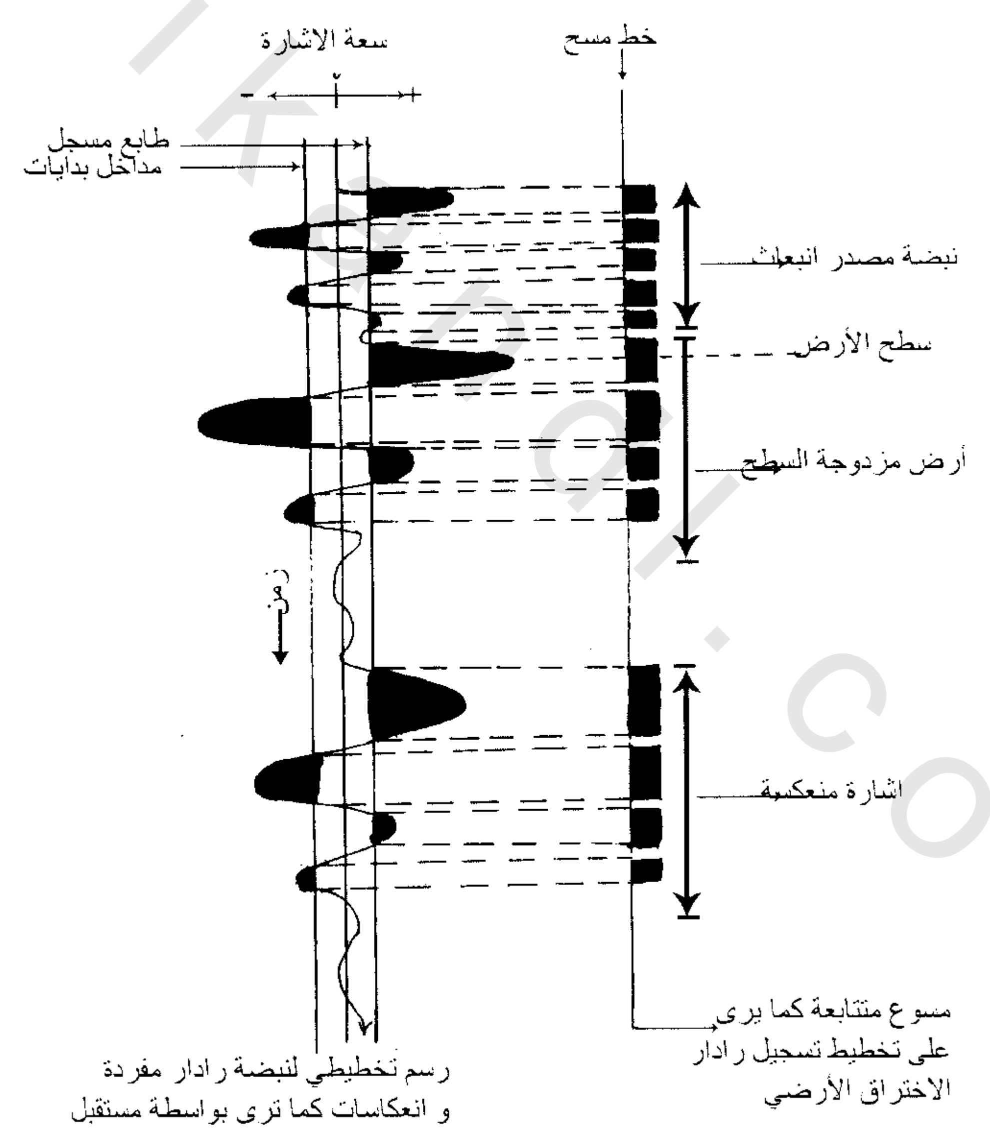
تولد البواعث نبضات موجات راديو عند تردد يتحدد بواسطة خواص الهوائى المستخدم وذلك عند معدل تكرار نموذجى 50,000 مرة كل ثانية. عادة يضبط هوائى الإستقبال للمسح عند معدل ثابت أعلى من 32 فحص دقيق لكل ثانية، معتمدا على النظام المستخدم. يمكن ضبط أى تأخير مسح على طول مدى طريقى زمن الفترة الكلى وذلك من عشرات قليلة إلى عدة الآف نانو ثانية. يمثل كل مسح على شاشة فيديو أو تسجيل خطى أو كليهما. طالما تتحرك الهوائيات على الأرض، فإن إشارات المستقبل تمثل كدالة لطريقى فترة الزمن، وهذا يعنى أن التسجيل الرادارى (يشبه التسجيل السيزمى) به الزمن المأخوذ من لحظة الإنبعاث إلى زمن الإكتشاف بواسطة المستقبل.

لكى تمد طول نبضة موجة الراديو المنبعثة بإنعاكاسات يمكن تحليلها يجب أن تكون كافية القصر (نموذجيا 20< نانو ثانية معتمدة على تردد الهوائى ونوعه). كذلك من المهم تحديد شكل وخواص موجات رادارية الباعث على أن تكون عالية التكرار. مثلا تحدد الطريقة التى يمثل فيها تسجيل الإشارات على راسم التسجيل بواسطة الراصد ويوضح شكل (8-2) مخرج مبسط. أيضا، يوضح الشكل أن الإشارات ذات السعات الأكبر من البداية المضبوطة المطبوعة باللون الأسود على قطاع الرادار. فى بعض الحالات، ربما يكون ملائما جدا طبع كلا من الموجب والسالب، أو عندما يكون مجرد موجب وسالب فإنه يمكن أيضا تمثيل المخرج بفترات من مساحات

تذبب متغيرة أو آثار تذبذب فقط (تماما كما فى تمثيل النتائج السيزمية). عامة، تمثل أكثر أنظمة التسجيلات الرقمية سفسطة سعة الإشارات تبعا للمقياس الرمادى أو قائمة الألوان، مثلا، أقوى الإنعكاسات يمكن إستخراجها بواسطة أكثر الألوان بريقا.

يلاحظ أن مصدر النبضة يتكون من أكثر من طول موجي واحد ولذلك فله شكل موجي معقد. يؤثر الإزدواج الأرضى على شكل ومدة هبوط إعاقة الموجه ولذلك فإن شكل الموجه لأى إنعكاس يكون معقد تماما، ولكن مدة عرض النبضة يعود لتوهين (تخفيف) مركبات التردد العالى للإشارة. يتكون حدث الإنعكاس من عدة موجات معاقة وليست واحدة، ولذلك يلزم أخذ هذا فى الإعتبار أثناء تفسير نتائج الرادار.

يجب أن يكون نظام القياس له مدى كاف للحساسية والديناميكية ليكون قادر على كشف قوى الإشارات الصغيرة المصاحبة مع نبضات الرادار العائدة. أيضا، يجب أن يكون قادر على إنتاج إخراج مصنوعات مناسبة الوضوح للتفسير.



شكل (2-8): مثال تخطيطى لنقل (إزاحة) مقدمة موجه مستقبلة (مسح واحد) على مخرج تخطيط مسجل

2.2.8 إنتشار موجات الراديو Propagation of radiowaves:

تكون للخواص الإلكترومغناطيسية للمواد علاقة بمكوناتها واحتواءها للماء، وكلاهما يؤكد التحكم الأساسى لسرعة إنتشار موجات الراديو وتوهين (تخفيف) الموجات الإلكترومغناطيسية فى المواد. تعتمد سرعة موجات الراديو فى أى وسط على سرعة الضوء فى الفراغ ($V = 0.3$ متر/نانو ثانية = 300,000 كيلومتر/ثانية). أما سرعة موجات الراديو فى المادة (V_m) فتحدد من المعادلة الآتية:

(سرعة موجات الراديو فى المادة) $V_m=C/\{(\varepsilon_r\mu_{r/2})[(1+\rho^2)+1]\}^{1/2}$ (8-1)

حيث C = سرعة الضوء فى الفراغ، ε_r = الثابت النسبى للعازل الكهربى ، μ_r = النفاذية المغناطيسية (= 1 للمواد الغير مغناطيسية)، ρ = معامل الفقد $\frac{\sigma}{W_\varepsilon}$ حيث σ = التوصيلية، $W = 2\pi fr$ حيث f = التردد، (فى المواد قليلة الفقد فإن $\rho \approx 0$)، ε = سماحية العازل $=\varepsilon_r\varepsilon_o$ حيث ε_o سماحية العازل للفراغ ($8.854 \times 10^{-2} F/m$).

$$\therefore V_m = C\sqrt{e_r} = 0.3/\sqrt{\varepsilon_r} \qquad (8\text{-}2)$$

تعتمد طريقة الرادار الأرضى على قابلية تغير الأرض للسماح لإنبعاث موجات الراديو، وبعض المواد مثل الثلج القطبى ناقل حقيقى لموجات الراديو. هناك مواد أخرى تمتص أو تعكس موجات الراديو مثل الماء المشبع للطين وماء البحر لذلك فإن إمتدادها يكون معتم لموجات الراديو. يعطى التباين فى نسبة الثوابت للعوازل بين الطبقات المجاورة إنعكاس لإشعاعات الكهرومغناطيسية الساقطة كلما زاد التباين كلما كبرت كمية طاقة موجات الراديو المنعكسة. تعطى نسبة الطاقة المنعكسة بواسطة معامل الإنعكاس (R) والذى يحدد بواسطة التباين فى سرعات موجات الراديو، و، أكثر أساسية، بواسطة التباين فى ثوابت العوازل النسبى للأوساط المجاورة.

(معامل سعة الإنعكاس) $$R = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} \qquad (8\text{-}3)$$

V_2, V_1 سرعتى موجات الراديو فى طبقة 1، 2 بالتتابع، $V_1<V_2$ ايضا

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \qquad (8\text{-}4)$$

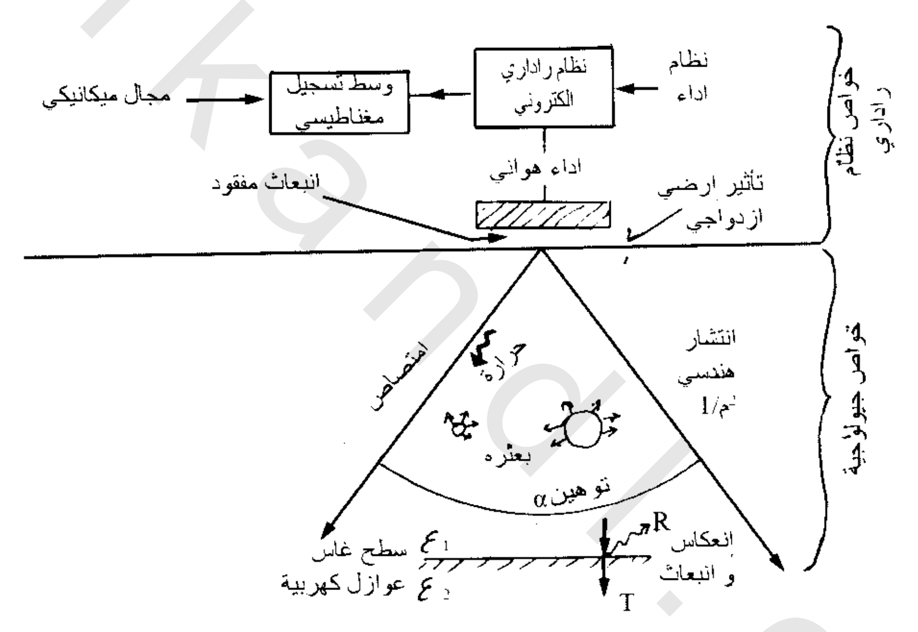
حيث ε_1، ε_2 ثوابت نسبية لعوازل الطبقات 1، 2 بالتتابع والتى تكون مناسبة للتطبيق عند سقوط زاوية قائمة لمستوى العاكس. نموذجيا، ε_1 تزداد مع العمق. نسبة إنبعاث الطاقة تساوى (R-1). تطبق المعادلة (8-2) ,(8-3) لإسقاط عمودى على مستوى السطح بفرض عدم فقد إشارة أخرى، وتشير قوة معامل الإنعكاس التى تساوى R^2 إلى سعة الإشارة.

يجب التذكر دائما عند التعامل مع الرادار الأرضى أن الإشعاع الكهرومغناطيسى وإنتشاره يوصف بواسطة معادلات ماكسويل Maxwellís equations بمركبة كهربية (E) عمودية على المركبة المغناطيسية (H). ويوجد خطورة عند عمل مقارنة لتسجيل الرادار إلى التسجيل السيزمى حيث ربما يتغاضى عن المتجه الطبيعى للرادار،

لذلك تكون الإفتراضات خاطئة حول طريقة التصرفات لموجات الراديو فى الوسط الجيولوجى. لذلك فى أغلب الحالات تستخدم عمليات البيانات السيزمية لتأثيرها. من الخواص المميزة للأستقطاب الكهرومغناطيسى لموجات الراديو أنها أكثر تشابه للموجات السيزمية العرضية S_W من الموجات السيزمية الطولية P_W.

1.3.2.8 فقدان الطاقة وتوهينها (تخفيفها) Energy Loss and Attenuation:

يوضح شكل (3-8) العوامل التى تسبب فى تقليل قوة إشارة موجات الراديو المنتشرة خلال الوسط التحت سطحى حيث يحدث إقلال الطاقة كتتابع إنعكاس /بالنسبة لفقد الإنتقال حول سطح تماس ويحدث لكل زمن مرور موجات الراديو خلال الحد. أكثر من هذا، يحدث هذا الإقلال إذا وجدت أشياء بأبعاد لنفس رتبة الطول الموجى بطريقة عشوائية، يعرف هذا بإنتشار مى Mie ويسبب شوشرة (ضجيج) على قطاع الرادار، وتكون مشابهة للشوشرة المرئية على شاشات الرادار البحرية الناتجة بواسطة خلفية الإنتشار من الموجات البحرية فى الطقس الردئ.



شكل (3-8): عمليات أدت إلى تقليل فى قوة الإشارة

بالإضافة للإنعكاس/فقد الإنتقال عند سطح التماس، تفقد الطاقة بواسطة الإمتصاص (تحول الطاقة الكهرومغناطيسية إلى حرارة). وهناك نوع من فقد الطاقة بسبب الإنتشار الهندسى للطاقة. تنتقل إشارة الرادار فى شعاع بزاوية مخروطية 90°. عند إنتقال إشارات الراديو بعيدا عن الباعث، فإن إنتشارها يسبب إقلال فى الطاقة لكل وحدة مساحة بمعدل $1/r^2$ حيث r مسافة الإنتقال.

يكون التوهين السبب الأساسى لفقد الطاقة والذى يكون دالة معقدة للعازل والخواص الكهربية للوسط الذى فيه تنتقل إشارات الرادرا. يعتمد معامل التوهين على التوصيل الكهربى σ والنفاذية المغناطيسية μ وخواص سماحية العازل ε للوسط الذى خلاله تنتشر الإشارة، كذلك تردد الإشارة نفسها 2πF. يتحدد سلوك كتلة المادة بواسطة تبعيتها للخواص الفيزيائية لمختلف المكونات الموجودة ونسبة تواجدها.

وكموجات كهرومغناطيسية، فإن العمق الذى بواسطته تقل الإشارة فى السعة إلى 1/e (أى حوالى 37%) من القيمة الحقيقية يعرف بعمق السطح (δ) ويتناسب عكسيا مع معامل التوهين (التخفيف) $\left(\frac{1}{\alpha}=\delta\right)$. وتوضح المعادلة الآتية العلاقة بين عمق السطح ومعامل التخفيف.

$$E_o/E_x = \exp(-\alpha x) \qquad (8\text{-}5)$$

حيث E_o قمة قوة المجال الكهربى على النقل، E_x قوة المجال الكهربى المنخفض على بعد x، α معامل التخفيف

$$\alpha = W\left\{\left(\frac{\mu_\varepsilon}{2}\right)\left[1+\frac{\sigma^2}{W^2\varepsilon^2}\right]^{1/2}-1\right\}^{1/2} \qquad (8\text{-}6)$$

حيث $W = 2\pi F$، f تردد المركبة الرأسية المغناطيسية (H_Z)،

μ النفاذية المغناطيسية: $4\pi x10^{-7}/m$،

σ معامل التوصيل الكتلية عند ترجج معطى (S/m)،

ε معامل سماحية العازل = $\varepsilon_r x8.85x10^{-12} F/m$،

ε_r معامل سماحية العازل الكتلية.

هذه الصيغة صالحة للمواد الغير مغناطيسية فقط المصطلح (σ/W_ε) يكافئ معامل الفقد (ρ) حيث

$$\rho = \sigma/W\varepsilon = \tan D \qquad (8\text{-}7)$$

أيضا

$$(\delta) = \frac{1}{\alpha} \qquad (8\text{-}8)$$

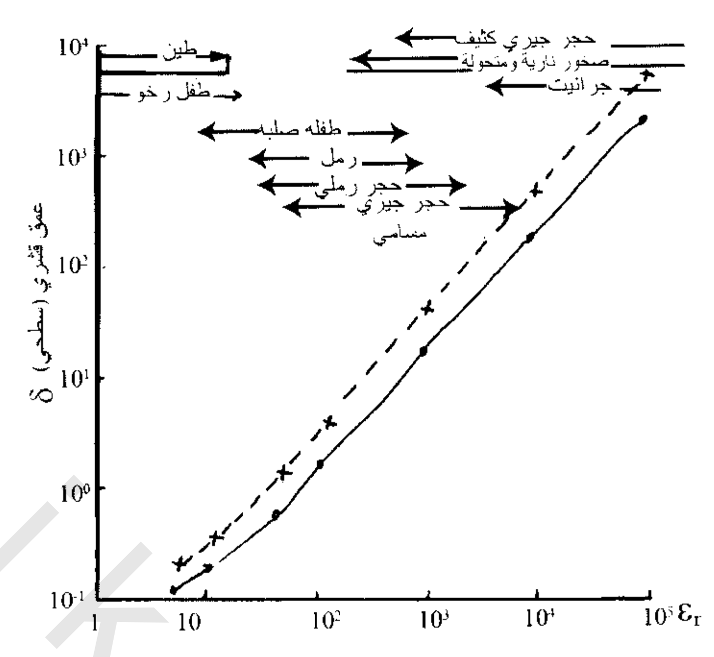
عندما $\tan D << 1$, $\delta = (2/\sigma)(\varepsilon/\mu)^{1/2}$ فإنه عدديا

$$\delta = (5.3)\ \sqrt{\varepsilon_r/\sigma}$$

حيث $\sigma = m_s/m$

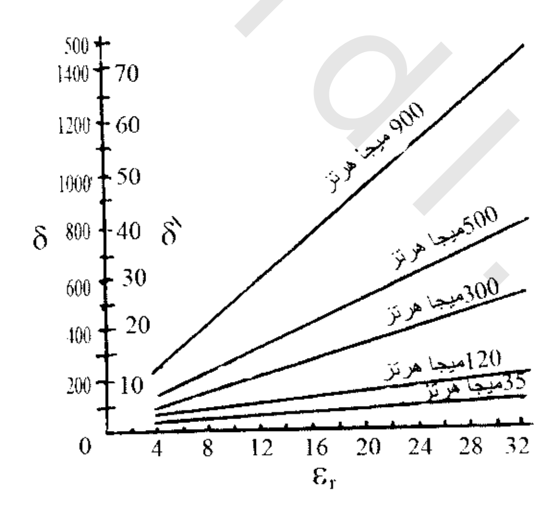
بإستخدام المصطلح النهائى للعمق السطحى، وبالتعويض بقيم نموذجية لماء البحر. وجد أن العمق السطحى فى ماء البحر ١ سم وبالنسبة للطين المبلول 0.3 م. عندما حسب العمق السطحى للصخور الجافة الغير متجويه، وجد أن مصطلح معامل التوصيل أساسا يقل وعندئذ يزيد العمق السطحى ويحتمل إختراق عمق أكبر. يوضح شكل (8-4) تغير عمق السطح كدالة للمقاومة الأرضية عند أقصى توقع فى مكان ثوابت نسبة الممانعة الكهربية (مكان وآخرين McCann et al 1988).

من المهم تذكر تحويل الإزاحة البسيطة للعمق السطحى تكون صحيحة فقط عندما يعتبر معامل الفقد أقل من 1، يستخدم شكل (8-5) لتحديد العمق السطحى عندما تكون مثل هذه الحالات صحيحة. مثال ذلك إذا كانت التوصيلية الحقيقية المرصودة 15ms/m



شكل (8-4): تغير عمق قشرى δ كدالة لمقاومة لـ ε_r = δ ,40 (مكان وآخرين McCann et al 1988)

عندئذ يحتاج معامل الفقد أن يعتبر فى صيغته النهائية فى جميع الأحوال الأخرى إلا عندما يستخدم تردد هوائى 900 ميجاهرتز، طالما ثابت العزل النسبى أكثر أو يساوى 6. إذا لم يستخدم الشكل النهائى لمعامل التخفيف تحت هذه الظروف، تكون القيمة المشتقة للعمق مبالغ فى تقدير قيمتها.



شكل (8-5): حالات التى أسفلها معامل tan D<<1

يجب ملاحظة أن العمق السطحى لايعادل عمق الإختراق للرادار الأرضى. لتحديد مدى الرادار، يؤخذ فى الإعتبار عوامل الجهاز بالإضافة إلى التى لها علاقة مع الهدف التحت سطحى والوسط الذى خلاله تسير موجات الراديو. طريق الفقد الكلى للمسافة المعطاه يعمل من خمس مصطلحات، مفقود الهوائيات، مفقود النقل بين الهواء والأرض، الفقد الناتج بواسطة المسافة الهندسية لأشعة الرادار، التوهين (التخفيف) خلال الأرض كدالة لخواص

المواد، والفقد بسبب تشتت إشارات الرادار من الهدف نفسه. العلاقة بين مدى الرادار وتحديد أداء نظام الرادار Q توضحها المعادلة الآتية:

$$Q=10\log\left\{\frac{E_{Tx}ER_xG_{Tx}GR_xV^2(gF)\exp(-4\alpha Z)}{64\pi^3f^2Z^4}\right\} \quad \text{(أداء الرادار)} \qquad (8\text{-}9)$$

حيث:

E_{Tx}, R_x = كفاءة هوائيات الباعث والمستقبل

G_{Tx}, R_x = قرب الباعث والمستقبل

g = زيادة خلفية تشتق الهدف

f = مساحة مقطع تشتت الهدف

Z = مسافة الهدف من الهوائى

α = معامل التعوهين (التخفيف) للوسط

F = تردد الإشارة

أيضا تحدد Q المتغير فى شكل (8-6)

$$Q = 10\log(P_{min}/P_s) \qquad (8\text{-}10)$$

حيث P_{min} أقل قوة إشارة مكتشفة، P_s مصدر القوة.

فى المواد الأقل فقد يكون مدى Z تقريبا $10\ D_2$، وفى المواد الأعلى فقد يكون مدى Z تقريبا D_2/D_1 حيث

$$D_1 = 2A/(40-10B_2) \qquad (8\text{-}11)$$

$$D_2=\left\{\frac{Q+10\log(s)+10\log V^2+10(B_1+(B_3-2)\log F)}{40-10B_2}\right\} \qquad (8\text{-}12)$$

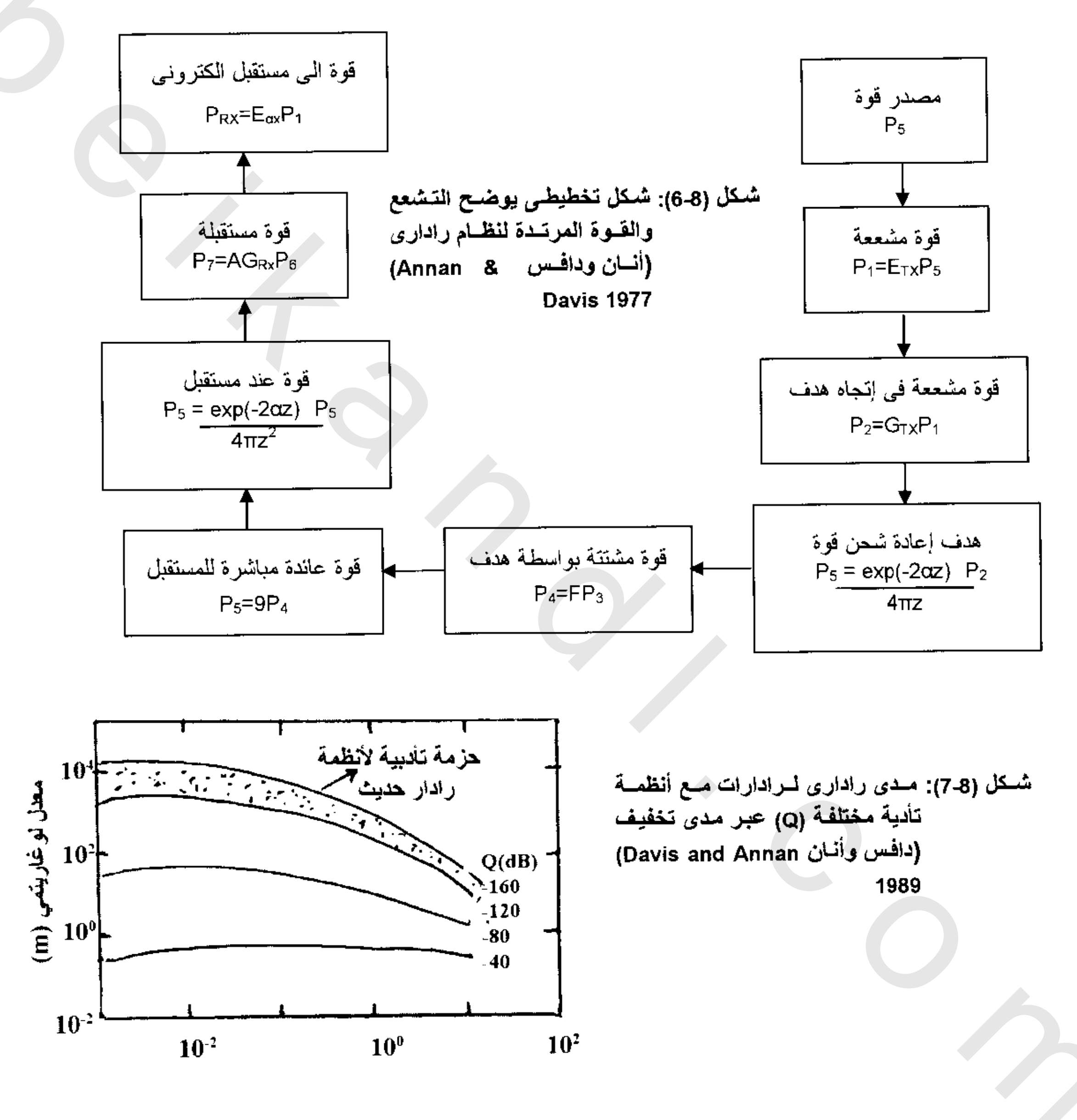
$$S = E_{Tx}E_{Rx}G_{Tx}G_{Rx}/64\pi^3 \qquad (8\text{-}13)$$

حيث β_1، β_2، β_3 قائمة فى الجدول الآتى:

نوع الهدف	gF	β_1	β_2	β_3
مستوى عاكس ناعم	πS^2R		2	0
مستوى عاكس خشن	$\pi(V^2/16)f^2+V_z/2f)/R$	$\log(\pi R)$	1	1-
نقطة هدف Rayleigh	$(64\pi^5a^6f^4/V^2)R$	$\log(64\pi^5a^6f^4/V^4)$	0	4

يوضح شكل (8-6) المركبات المؤثرة على الإشعاع ومردود القوة. ويوضح شكل (8-7) التغير لمدى إشارة الرادار كدالة لكلا من التخفيف وأداء جهاز الرادار بالنسبة لسطح ناعم عاكس، فإن الإشارة العائدة من سقوطه على السطح تظهر كصورة للمصدر، وإذا كان التخفيض فى القوة بواسطة قوة الإنعكاس R (r^2= حيث r سعة معامل الإنعكاس) للسطح الفاصل، فإن الإشعاع من مسافة بعيدة يكون أعلى مرتين عن الحد.

يوجد صعوبة فى تحديد مساحة المقطع العرضى للهدف للعواكس اللامعة المضطربة. لذلك اقترح (كوك Cook 1975) أنه يتطلب مساحة لمنطقة فرسنيل Fresenl الأولى شكل (8-8) وتبعا لذلك، وحيث يكون الطول الموجى لخشونة السطح أكبر من قطر منطقة فرسنيل الأولى (مساحة المقطع العرضى) عندئذ يمكن تقدير gF الناتجة. بينما تكون طول موجة السطح الخشن أقل من قطر منطقة فرسنيل الأولى، وخاصة عندما تكون سعة الخشونة أكبر من o الطول الموجى، فإنه يكون من الصعب حساب مساحة المقطع العرضى للهدف. يقل قوة معامل الإنعكاس كتابع للتشتت الكبير الناتج من مثل هذا السطح الخشن.

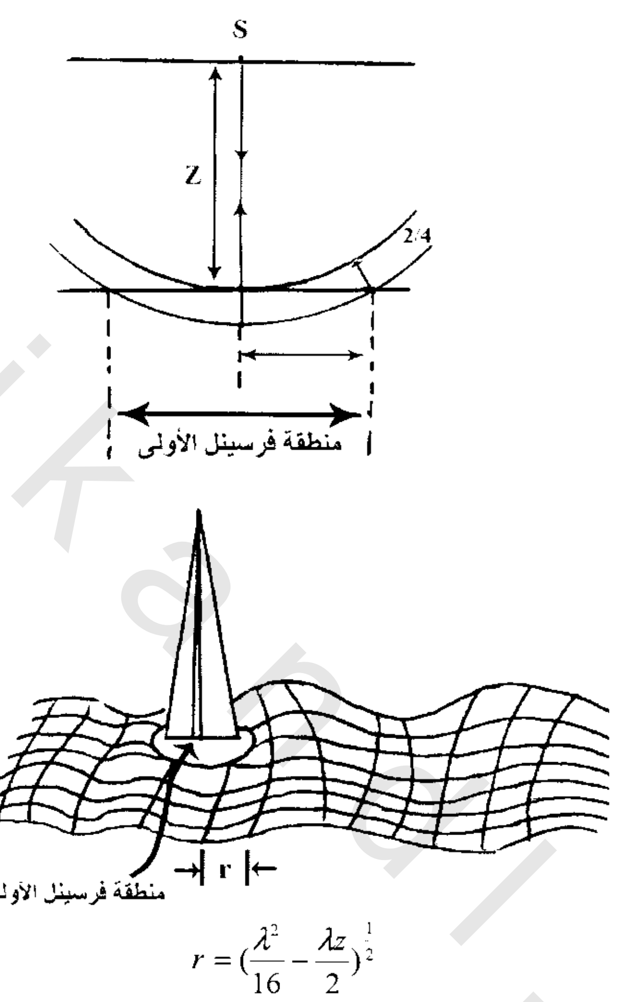


شكل (8-6): شكل تخطيطى يوضح التشعع والقوة المرتدة لنظام رادارى (أنان ودافس Annan & Davis 1977)

شكل (8-7): مدى رادارى لرادارات مع أنظمة تأدية مختلفة (Q) عبر مدى تخفيف (دافس وأنان Davis and Annan 1989)

لهدف معين، توصف خواص الطاقة المرتدة بقانون رالى Rayleigh للتشتت الذى يكون فيه نتاج gF قوى جدا معتمد على التردد (للقوة الرابعة). للتعبير فى المعادلات (8-9 ,8-13) لنقطة المصدر، يفرض أن نصف قطر الهدف (a) أقل كثيرا من الطول الموجى للأشعة الساقطة. فى المواد التى يتكون من الزلط والحصى أو

وحدات جيولوجية محطمة بشدة عبر مسافات أقصر من طول موجه الطاقة الساقطة، عندئذ يكون احتمال كمية الطاقة المشتتة كبير، وكذلك احتمال رؤية مسجل الرادار تكون قليلة جدا لأى أحداث انعكاسية ملائمة مصاحبة لهذه المواد. لايمكن إستخدام هذه الخاصية نفسها مباشرة خلال التفسير لتشخيص أو وصف مميز لهذه المواد.



$$r = (\frac{\lambda^2}{16} - \frac{\lambda z}{2})^{\frac{1}{2}}$$

شكل (8-8): إنعكاس من سطح فاصل خشن براق يكافئ هدف مساحة المقطع مساحة منطقة فرسينل الأولى (أنان ودافس Annan & Davis 1977

من المعادلة (8-5) ومشتقاتها، يتضح أن التخفيف يتناسب مباشرة مع التردد. التردد العالى يقابله إرتفاع فى كمية التخفيف. من الواضح أيضا تاثير ثابت العازل الظاهر (ε_r، والتوصيلية الظاهرة عند تردد معطى (σ)) على نوعية التخفيف. يتأثر كل من هذه الخواص بواسطة تركيب المادة والسلوك الكهربى والكثرة النسبية لكل مكون. يتناسب معامل الفقد tan D طرديا مع التوصيل وعكسيا مع ثابت العزل النسبى والتردد. لوسط حبيبى مشبع، تسود التوصيلية وثابت العزل النسبى لسائل التشبع على قيم النسيج الأساسى المقابل. لاتساوى نسبة ثابت العزل الظاهرية (ε_r) بالضبط لناتج المسامية (ϕ) ونسبة ثابت العزل الظاهرية للسائل (ε_F). نتيجة لهذا يكون أعلى تخفيف عند أكثر توصيلية للسائل المشبع، وأكبر نسبة لوجوده مع نسبة ثابت عزل عالية تابعة (ε_r للماء =81). بالمثل يكون معامل فقد أكبر وأيضا التخفيف عند احتواء طين أعلى حيث ترجع أهمية الطين أنه يملك ربط مائى خلال نسيجه التركيبى. أيضا تظهر المعادن الطينية خواص كهربية معينة نتيجة لتركيبها الفيزيوكيميائى.

2.3.2.8 التحليل الأفقى والرأسى Horizontal and Vertical Resolution:

يقيس التحليل الرأسى قدرة التفريق فى الزمن بين إشارتين متجاورتين. ببساطة، التحليل الرأسى دالة للتردد. تصمم هوائيات الرادار ليعمل عبر مدى تردد (عرض نطاق ترددى) حيث تحدث ذروة القوة عند مركز تردد الهوائيات، يصنف المركز استقلالية الهوائيات، مثلا تردد هوائى 500 ميجاهرتز أى يكون مركز تردد 5000 ميجاهرتز. أيضا، يتناسب مركز التردد عكسيا مع فترة النبض (نانو ثانية). لذلك فإن تردد هوائى 500 ميجاهرتز تكون فترة نبضة 1/500 ميجاهرتز =2 نانو ثانية، ولتردد هوائى 35 ميجاهرتز فتكون فترة نبضة $\frac{1}{35x10^6} = 28.6$ نانو ثانية. ويكون الطول المكافئ (متر) للنبضة هو حاصل ضرب فترة النبضة وسرعة موجات الراديو الخاصة بالمادة. مثلا التربة المبللة (سرعة = 0.06 م^2/نانو ثانية) يتردد هوائى 100 ميجاهرتز (فترة النبضة =10 نانو ثانية)، فإن طول النبضة (الموجه) تكون 10x0.06 متر أو 0.6 متر. ويمكن إعتبار التحليل ∘ الطول الموجى (h) للأشعة الساقطة. $h = \frac{V}{F}$ حيث V سرعة موجة الراديو، f التردد. فى الحالة الأخيرة إذا كان الطول الموجى 60 سم فإن التحليل الرأسى النظرى يساوى 15 سم. يحتوى الجدول (8-1) على أقل تحليل نظرى للمادتين عند ثلاث ترددات منفصلة.

جدول (8-1) تحليل رأسى نظرى لمادتين جيولوجيتين عند ثلاث ترددات.

المادة الجيولوجية	ترددات هوائية (ميجاهرتز)			المادة الجيولوجية	ترددات هوائية ميجاهرتز		
	120	500	900		120	500	900
تربة طول موجى (سم)	62.5	15	8	صخر أساس: طول موجى (سم)	92	22	12
تحليل (سم)	15.6	3.75	2	تحليل (سم)	23	5.5	3

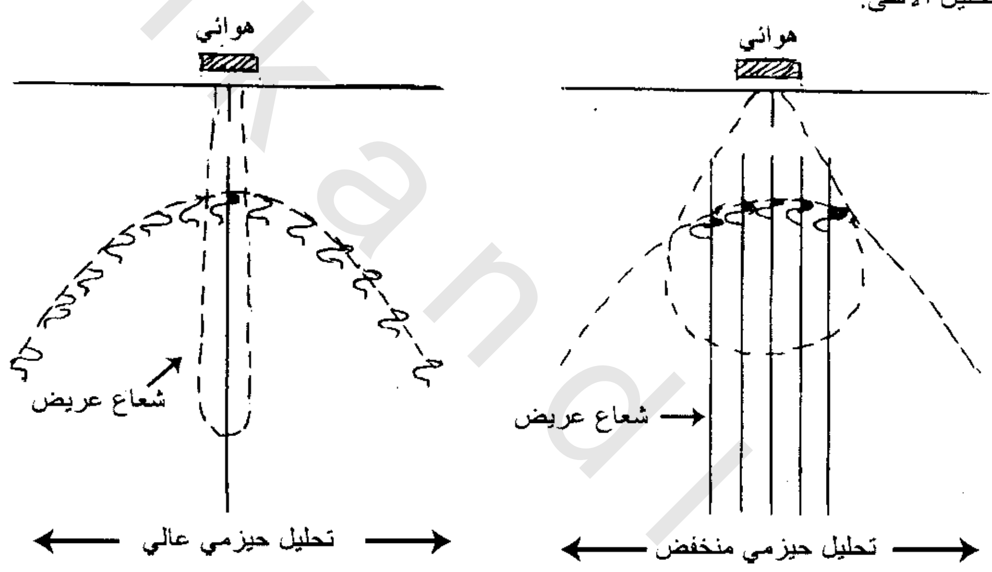
المثال الأول فى الجدول السابق يكون نموذجيا عندما تكون السرعة (V) = 0.75 متر/نانو ثانية والثانى بالنسبة لكتلة صخرية مثل الحجر الجيرى بسرعة (V) = 0.100 متر/نانو ثانية ويكون التحليل الرأسى المعطى حسن جدا إذا أنجز رياضيا. فى الحقيقة يكون التحليل أقل من هذه الأرقام بسبب تعقد مصدر شكل الموجة الطبيعى وتجاوب الأرض.

ينتج وضع الهوائى مباشرة على الأرض إشارة "مزدوجة أرضية" هذا يعنى أن شكل الموجه لأبعاد إنتاجها عندما تبعث للأرض. تؤثر المادة فى الشكل والنمط والسعة (القوة) لخفض مصدر مسار تتابع الموجه وتأثير الترشيح عليها. يقل طول مصدر النبضة بزيادة التردد، ولكن يمكن تفسير نتوء النبضة الأساسى فقط. هذا التعقيد لمصدر شكل الموجه له متابعة هامة للتفسير.

مثلا، إذا كان لإنخفاض موجة الرادار ثلاث دورات بفترة كلية 25 نانو ثانية، فهذا يعنى أن الإنعكاس من أى سطح تماس متساوى إذا لم يكن أكبر تعقيدا للشكل والفترة. ترجع الإستطالة لفقد ترددات عالية خلال الإشارة حيث تخفف الترددات العالية بنسبة أكبر من الترددات المنخفضة.

مثلا، إذا فصلا سطحى تماس بعدة عشرات قليلة من السنتيمترات، تكون سرعة موجة الراديو بينهم هى فترة الزمن بين الإنعكاس من سطح التماس الأول (غالبا الأعلى) ويكون زمن الإنعكاس الآخر من الثانى أقصر من فترة تتابع الموجه، لذلك سيختفى بداية الإنعكاس الثانى بواسطة مؤخرة الأول ولهذا ربما لايحل.

الصعوبة الأخرى هى إنخفاض فترات الإشارة عن الباعث فى مخروط الإشعاع بأثر حجم أساسى محدد هو نصف منطقة فرسنيل Fresenel الأولى وهى الأصغر والتى فيها لايتصور ظواهر الأبعاد الصغيرة، ويشير شكل (8-8) إلى نصف قطر منطقة فرسنيل الأولى. يتأثر هذا الأثر بحجم الأساس لكلا من التحليل الرأسى لكلا من التحليل الرأسى (عندما تميل سطوح التماس بشدة أولها سطح سعوى كبير متعرج بالنسبة لطول موجة الراديو الساقطة) والتحليل الأفقى. يقابل منطقة فرنسيل الأولى إنخفاض التحليل الأفقى فى التمييز بين الأهداف المجاورة. أكثر من هذا، يتأثر التحليل الخاص بواسطة عرض الشعاع المخروطى لإنخفاض موجات الراديو شكل (8-9)، ويقابل ضيق عرض الشعاع كبر التحليل الخاص. يتناسب التحليل الخاص عكسيا مع $\sqrt{\alpha}$ حيث α معامل التوهين (التخفيض). تبعا لذلك فإن التحليل الأفقى أفضل عبر مادة فقد كبير من وسط فقد منخفض، حيث تسمح أنظمة الرادار برص أفقى للمسوحات الجانبية لتحسين الإشارة إلى نسبة الشوشرة، يقل التحليل الأفقى كلما زادت كمية الرص الأفقى. يوجد توافق عملى يصل بين قوى الإشارات العائدة الملائمة بواسطة الصف الأفقى وإقلال التحليل الأفقى.



شكل (8-9): تحليل أفقى ناتج عن أشعة عريضة

عند إستخدام فتحة رادار نموذجى (synthetic aperture, radar (SAR) (هولوجرافيك رادار holographic radar)، لعمل القياسات بواسطة هوائى مفرد عند عدد من الأماكن المختلفة وتكون النتائج المجمعة تظاهر بشعاع ضيق أكثر من التى أنجزت بواسطة إستخدام هوائى مفرد عند موقع واحد.

5.2.8 خواص العوازل الكهربية الأرضية لمواد الأرض: Dielectric Properties of Earth Materials

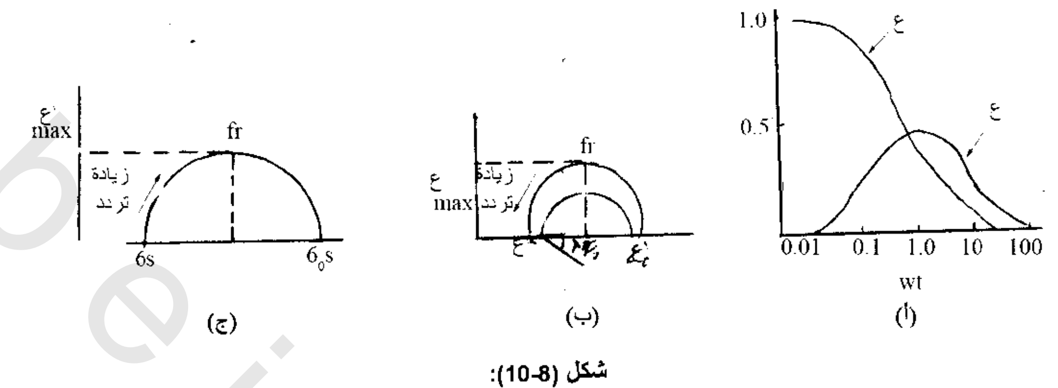
يوصف سلوك خواص العوازل الأرضية فى صيغ سماحية معقدة (ε*) وتوصيلية معقدة (σ*) والتى ترتبط بعلاقات متبادلة حيث تعطى السماحية المعقدة (ε*) لمواد غير موصلة بواسطة

$$\varepsilon^* = \varepsilon' + i\varepsilon'' \qquad (8\text{-}14)$$

حيث ε'' تنقط (ترسم) كدالة لـ ε'، ويكون محصلة الرسم البيانى نصف دائرى. يعرف هذا التنقيط بتنقيط كول-كول وذلك بعد عمل الأصليين كول وكول Cole and Cole 1947. إذا كانت للمادة توصيلية σ، عندئذ

$$\varepsilon^* = \varepsilon` + i(\varepsilon`` + \sigma s / w\varepsilon_o) \qquad (8\text{-}15)$$

حيث σ_s توصيلية ساكنة أو مستمرة (DC)، ε_o سماحية الفراغ. عند ترددات منخفضة، يسود تعبير مستمر (DC) وتنتج نهايات ترددات منخفضة شكل (8-10)



شكل (8-10):

تكون علاقة ``ε (نقد التردد التابع) بالتراخى مسئولة عن الظاهرة المصاحبة لجزيئات الماء وتعطى التوصيلية المعقدة بالمعادلة الآتية:-

$$\sigma^* = \sigma` + I\,\sigma`` = jw\,\varepsilon_o\varepsilon^* \qquad (8\text{-}16)$$

لأغلب المواد الجيولوجية فإن ε_r تقع فى مدى خواص عوازل كهربية من 3-30. تبعا لذلك يكون مدى سرعة موجات الراديو كبيرة من حوالى 0.06-0.175 متر/نانو ثانية، شكل (8-11). سرعة موجات الراديو فى الهواء 299.8 متر/نانو ثانية. لمحاولة تقدير أعماق أى أهداف معطاة، يكون هناك أساسا معلومات عن سرعات موجات الراديو خلال المواد التحت سطحية الموجودة.

يوضح جدول (8-2) ثوابت خواص العوازل النسبية وسرعات الراديو المصاحبة لها لمواد جيولوجية ومصنعة مختلفة.

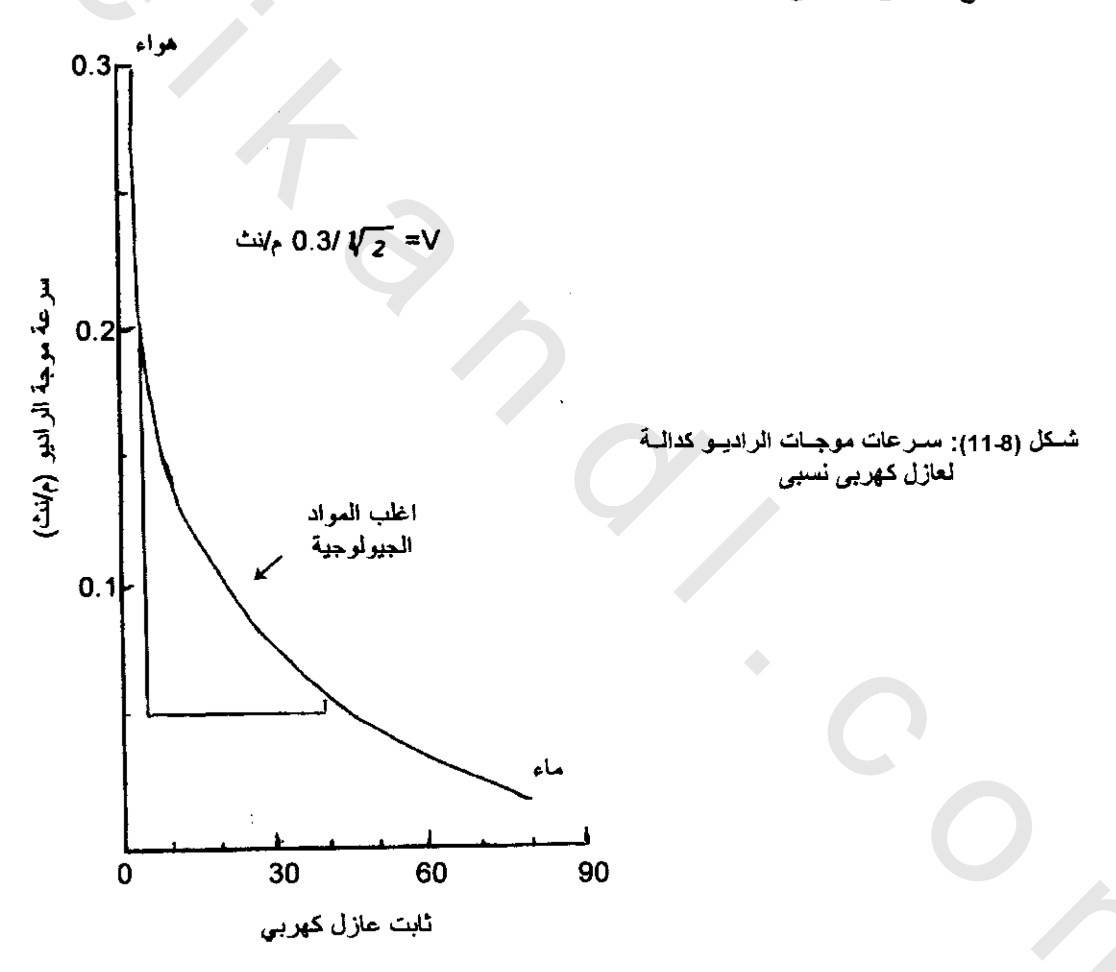
جدول (8-2)

المادة	εr	السرعة (م/نث)	المادة	ε_r	السرعة (م/نث)
هواء	1	300	مستنقعات	12	86
ماء (عذب)	81	33	أرض زراعية	15	77
ماء (بحر)	81	33	أرض رغوية	13	83
ثلج قطبى	3-1.4	252-194	تربة متوسطة	16	75
جليد قطبى	3.15-3	168	جرانيت	8-5	120-106
جليد معتدل	3-2	167	حجر جيرى	9-7	113-100
جليد نقى	3-2	167	دولوميت	8-6.8	115-106
جليد بحيرات ماء عذب	4	150	بازلت (مبلل)	8	106
جليد بخار	8-2.5	157-78	طفلة (مبللة)	7	113
تربة دائمة التجمد	8-1	300-106	حجر رملى (مبلل)	6	112
رمل شاطئ (جاف)	10	95	فحم	5-4	150-134
رمل جاف	6-3	170-120	كوارتز	4-3	145
رمل (مبلل)	30-25	60-55	خرسانة	30-6	112-55
غرين طمى (مبلل)	10	95	اسفلت	5-3	173-134
طين (مبلل)	15-8	110-86	بولى اثيلين	3	113
تربة طينية (جاف)	3	173	راتنجات بوليستر		

يجب التأكد على أن قيم كلا من ثوابت العوازل الكهربية وسرعة موجات الراديو تؤخذ فقط كأرقام مرشدة. ويرجع النقص لمدى بعض المواد لقلة القياسات المعمولة وهذا لايعنى شمولها لأنه لايوجد تغير خلال هذه المواد والمدى المغطى سابقا لايعنى أيضا امتدادها.

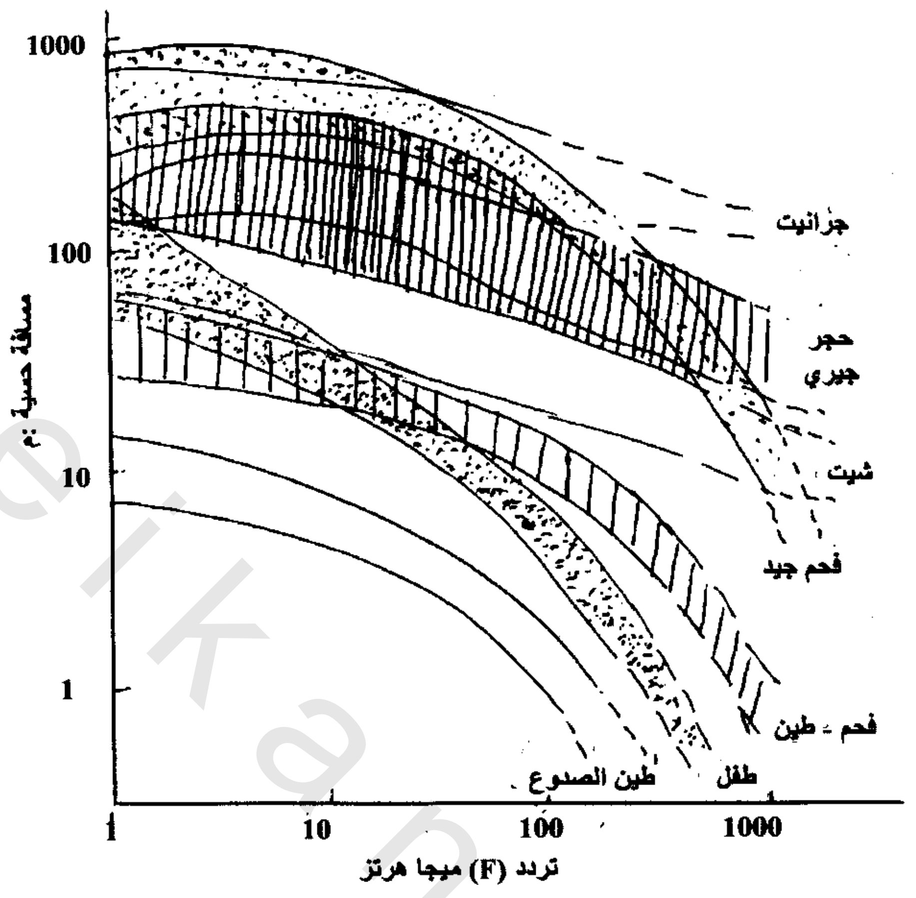
قام كوك Cook 1975 بعمل رسم تخطيطى توضيحى شكل (8-12) يوضح المجسات المسافية المنجزة للمواد الجيولوجية المختلفة عبر مدى تردد من 1 إلى 500 ميجاهرتز، الطين أكثر المواد الذى لـه أقصر مجسات مسافية أكثر من أغلب الصخور الكتلية مثل الجرانيت والحجر الجيرى.

عادة ما تكون أغلب المواد سواء جيولوجية أو من صنع الإنسان خليط معقد من مواد كل منها تتشابه فى اختلافه للخواص الكهربية والعوازل الكهربية، ويؤثر حجم وشكل الحبيبات على السلوك الظاهرى الكهربى والعازل الكهربى. تحتوى معظم الصخور على مدى من الرطوبة، أى تحتوى على سوائل خلال الفراغت الرقيقة أو خلال النسيج الشبكى المعدنى



شكل (8-11): سرعات موجات الراديو كدالة لعازل كهربى نسبى

كما فى أنواع كثيرة من معادن الطين. وحيث أن ثابت العازل الكهربى النسبى للماء أكثر من (81) بالنسبة للصخر الجاف فإن أى نسبة صغيرة للماء تزيد من السماحية الظاهرية للصخر. يرى شكل (8-12) تأثير محتويات رطوبة التربة للصخور المختلفة على الثابت النسبى للعوازل الكهربية. أكثر من هذا فإن كمية الماء الموجودة خلال الصخر سوف تؤثر أيضا على سرعة إنتاشر موجات الراديو. وقد وجد أن سرعة الرادار خلال الماء العذب 3.3×10^{7} م/نث (0.033 م/نث) بينما تكون 1.2×10^{8} م/نت خلال مسامية الحجر الرملى المنخفضة.



شكل (8-12): مسافات جسية كدالة للتردد لمواد جيولوجية مختلفة

توضح ثوابت العوازل الكهربية النسبية لمواد الطبقات العلاقة مع المسامية (ϕ) بواسطة اعتبار نسبة المحتويات الموجودة وهذه الثوابت المقابلة لها. توضح المعادلة الآتية العلاقة بين ثوابت العوازل الكهربية الظاهرية والمسامية.

$$\varepsilon_r = (1-\phi)\varepsilon_m + \phi\varepsilon_w \qquad (8\text{-}17)$$

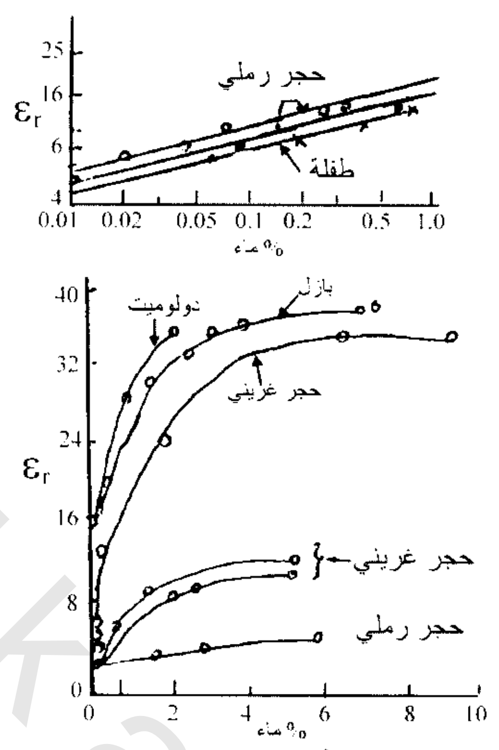
حيث ϕ المسامية، ε_m ثوابت العوازل الكهربية النسبية للنسيج الصخرى ε_w ثوابت العوازل الكهربية النسبية للماء بالفراغات. تتلاشى هذه المعادلة عند تطبيق المجال الخارجي موازى للتطابق الصخرى. عند تطبيق المجال الخارجى عمودى على التطابق عندئذ

$$\varepsilon_r = \varepsilon_m\varepsilon_w/[(1-\phi)\varepsilon_m + \phi\, \varepsilon_w] \qquad (8\text{-}18)$$

باستخدام العلاقة المبسطة $v = c/\sqrt{\varepsilon_r}$ لمواد قليلة الفقد، حيث c سرعة موجات الراديو فى الهواء وبالتعويض فى المعادلة (8-13)

$$\therefore\ V = C/[(1-\phi)\varepsilon_m + \phi\, \varepsilon_w]^{1/2} \qquad (8\text{-}19)$$

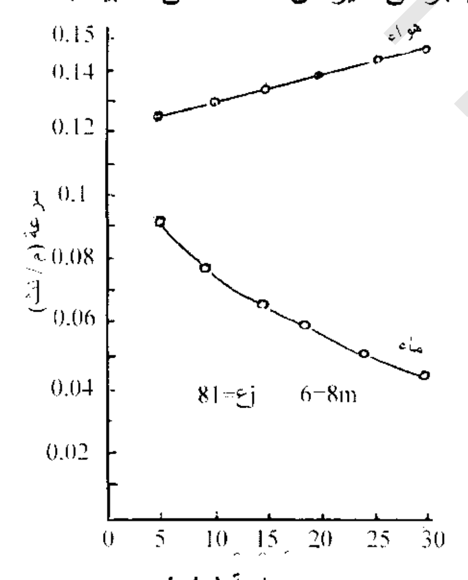
يوضح شكل (8-13) تغير موجات الراديو مع المسامية لأوساط مسامية مشبعة بالماء والهواء. إذا عرفت ثوابت نسبة العازل الكهربى لكل مكون للمادة وقيست المادة الظاهرية أو إستخرجت من سرعة موجات الراديو، عندئذ يمكن حساب المسامية.



شكل (8-13): تأثير المحتوى الرطوبى لتربة من صخور على ε_r (كنج وسمث King & Smith 1981)

من شكل (8-14) يمكن رؤية أن سرعة موجات الراديو تقل بزيادة محتويات رطوبة التربة. تبعا لذلك فإن المواد المائية تحلل رأسيا أفضل من المواد الجافة. أيضا فإن التوهين (التخفيف) فى المواد المائية أكبر من الجافة لذلك فإن اختراق العمق يكون صغير.

بفرض تحديد المسامية كمركبتين فقط فإن هذا يعنى عمل واحدة للنسيج والأخرى للفراغات التى تكون مشبعة أما بالهواء اوسائل آخر معروف نسبة ثابت العازل الكهربى له. أيضا، يفرض أن جميع الفراغات مشبعة بسائل واحد، ربما، هذا الوضع لاينجز فى كثير من الحالات فى الطبيعة.



مسامية (٠/٠)

شكل (8-14): سرعة رادارية كدالة مسامية هواء، ومواد حبيبية مشبعة بالماء

3.8 أنماط الحصول على النتائج Modes of Data Acquisition:

توجد حالتين لإستخدام أنظمة الرادار.

1.3.8 بروفيل رادارى عاكس Radar Reflection Profiling:

يمثل شكل (8-1) مثال رادارى يستخدم للحصول على بروفيل عاكس، يتحرك هوائى رادارى أو أكثر عبر سطح الأرض لحظيا، مع قياس فترات الزمن للعواكس الرادارية الموضوعة على محور راسى، بينما يرى مسار مسافات الهوائيات على محور افقى. يشبه شكل هذا المسح بروفيل الإنعكاس السيزمى المستمر. إذا قيست سرعات موجات الراديو مستقلة، أو مقارنة الإنعكاسات مع التغير فى خواص الأرض المرصودة من نتائج الآبار، عندئذ يمكن تحديد أعماق العواكس.

2.3.8 مدى استطلاع زاوية الإنعكاس والإنكسار

Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding:

يوضح شكل (8-15أ) توزيع هوائيات المستقبلات WARR، حيث يحفظ الباعث عند موقع ثابت وتقطر المستقبلات بعيدا بزيادة الإزاحة. يجب أن يعبر موقع استطلاع WARR مساحة تكون العواكس فيها سطحية أو أفقية أو مائلة بزاوية ضحلة جدا. أيضا، يفرض أن خواص المواد متشابهة ولذلك تكون خواص العواكس هى نفسها عبر المساحات التحت سطحية والتى يؤخذ عبرها استطلاعات WARR. هذا الغرض ربما يكون غير حقيقى فى جميع الحالات.

لتجنب هذا الإفتراض الأخير، تكون إنتشار الإشارة التبادلية لنفس التحاليل هى نقط وسط الإستطلاع العام (common midpoint CMP) فى هذه الحالة، يتحرك كلا من الباعث والمستقبل بعيدا عن الآخر لكى تبقى نقطة الوسط ثابتة الموقعغ بينهم (شكل 8-15ب) فى حالة نقطة الوسط، تستخدم نقطة الإنعكاس لكل العواكس عند كل إزاحة، ولهذا فإن التماسكية المساحية عند أى عمق غير مطلوبة شكل (٨-١٥ iii,ii,i)، ولذلك تعطى الأماكن المكافئة بين CMP,WARR.

3.3.8 مابعد (تمبر) الإضاءة أو مسح ردارى غير عميق (ضحل)

Transillumation or radar tomography:

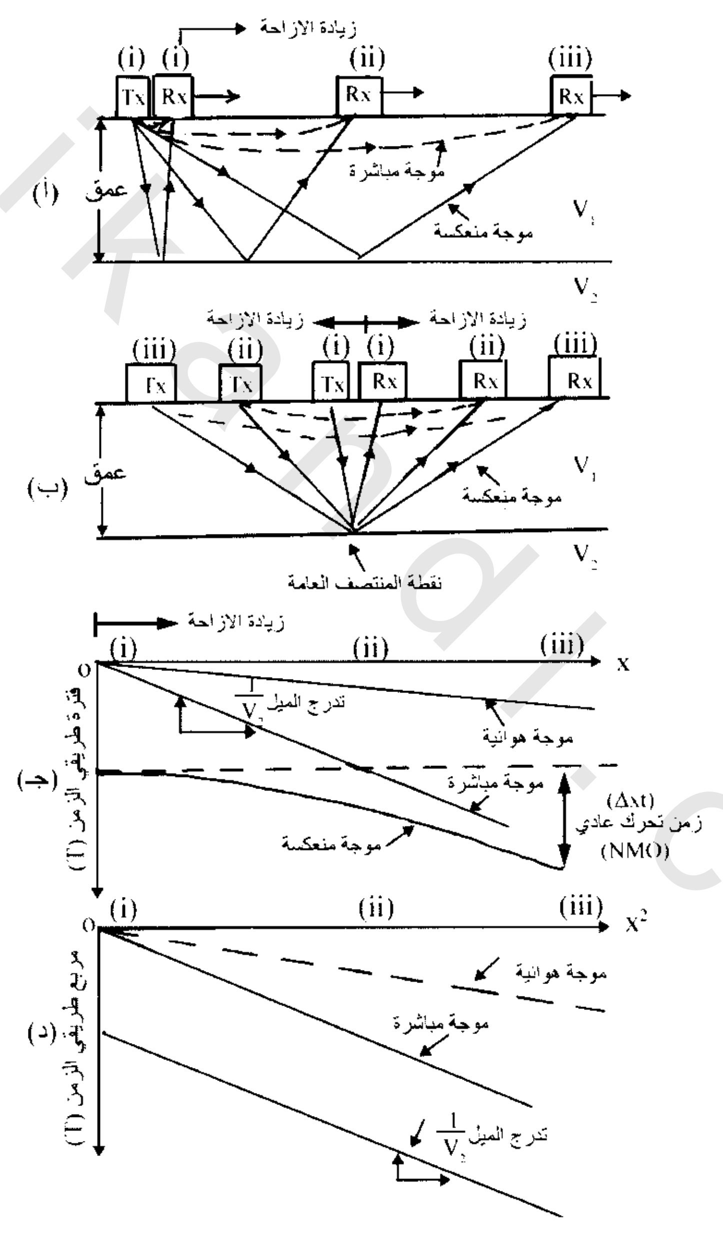
لإستخدام نمط تمبر الإضاءة أو المسح الردارى الضحل يوضع الباعث والمستقبل على جانبى متقابلى الوسط المراد فحصه شكل (٨-١٦). تستخدم هذه الطريقة تحت الأرض خلال المناجم حيث يوضع الباعث فى شرفة والمستقبل فى شرفة أخرى مقابلة للباعث أو فى شرفة علوية وأخرى سفلية. يمكن وضع هوائى الرادار بالتبادل أسفل الفتحات وعندئذ تنتشر اشارات الرادار من واحد، خلال الوسط بينهم، الى الآخر أيضا هذا النمط شائع الإستخدام فى إستقصاء التركيبات المصنعة بواسطة الإنسان غير التالفة خاصة بإستخدام ترددات عالية جدا لهذا تكون الهوائيات صغيرة (مركز تردد 900 ميجاهرتز). ويشمل هذا الإستخدام أمثلة أخرى كاختبارات الأعمدة الخرسانية والأعمدة البنائية.

يكون من البساطة حساب متوسط سرعة موجات الراديو لمسار الأشعة الملائم عند معرفة الأماكن النسبية للهوائيات عند كل الأزمنة المقاسة، وأيضا المسافات بينها. أيضا يمكن تحديد التوهين (التخفيف) بمقياس الإشارة بالإضافة لفترات الزمن.

4.8 معالجة البيانات Data Processing:

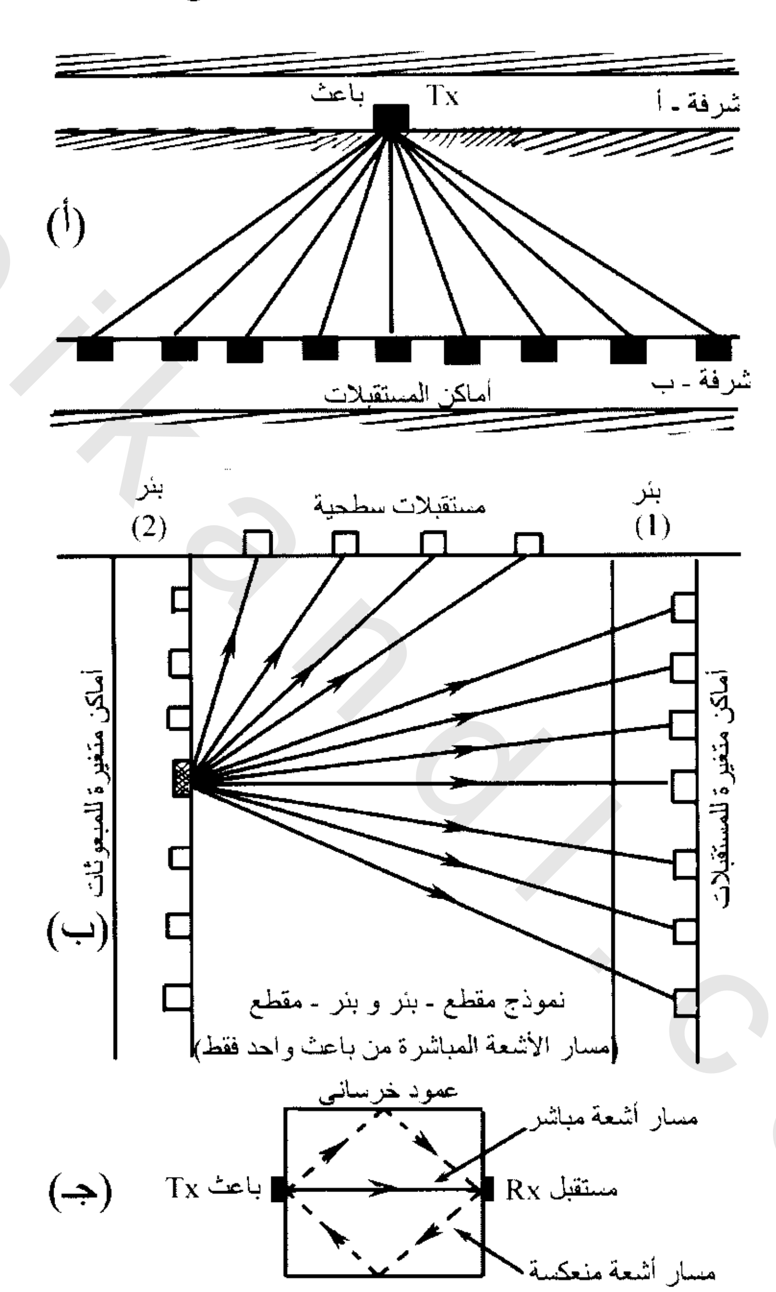
1.4.8 أثناء الحصول على بيانات During Data Acquisition:

تمد جميع طرق الرادار الأرضى بأنظمة ترشيح للبيانات خلال الحصول عليها. عادة، من الممكن وضع مرشحات عالية ومنخفضة الإمرار لتحديد شكل موجه الإشارة عند زمن المسح. كما فى الترشيح السيزمى أثناء الحصول على البيانات. يوجد عنصر مهم للحس الكيفى لإختيار أوضاع الترشيح الملائمة. أكثر من هذا تسمح الأنظمة الرقمية للترشيحات الرأسية والأفقية وكذلك اكتساب أكبر قوة لأوضاع اختيارات تكون فيها المعلومات



شكل (8-15): أ) شكل استطلاع زاوية الإنعكاس والإنكسار (WARR)، ب) استطلاع نقطة منتصف عامة (CMP) مع ج) تخطيط زمن-مسافة (x-T) مع زمن تحرك عادى (MMO) و د) الشكل التخطيط المقابل للتربيع (X^2, T^2)

الكيفية أفضل. وكقاعدة ابهام اليد يكون من المناسب حفظ أوضاع الفلاتر كنطاق موجى عريض كلما أمكن ذلك لكى لاتستبعد قيم المعلومات الممكنة أثناء الحصول على طورها. يكون ترشيح النطاق الموجى العريض قليل القيمة جدا بعد إتمام العمل الحقلى أكثر من التحقق بأن المعلومات الكيفية وفقت بواسطة إستخدام أوضاع المرشحات والتى تكون صعبة جدا، لذلك من الضرورى إعادة العمل الحقلى.



شكل (٨-١٦) نتائج حصل عليها لنماذج رادارية تمبر إضاءة ومقطع بئر أ) بين شرفات منجم، ب) بين آبار أو آبار - سطح، جـ) خلال عمود خرسانى. فى جميع الحالات المسافة المباشرة بين هوائى الباعث والمستقبل معروفة. أيضا يعرف نموذج أ، ب بمسح ردارى ضحل.

تستخدم دالة الأنظمة الرقمية لاستخلاص عدد محدد من المقادير المجاورة لتحسين الإشارة إلى نسبة الشوشرة. هذه الأعمال جيدة فى بعض المساحات عندما يكون التركيب كثيرا موازى أو نسبة موازى لسطح الأرض. تنتج تلوثات أفقية وصورة رادارية غير مركزة عندما يوجد تركيبات شديدة الإنحدار وتكوينات أفقية مجاورة عبر مسوحات رادارية كثيرة جدا.

2.4.8 إستطلاع إتساع زاوية الإنعكاس والإنكسار

Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding:

إذا استخدم هوائيين منفصلين واحد كباعث والآخر كمستقبل، فى نمط ثنائى الإستاتيكية، فمن الممكن تحديد التغير الرأسى فى سرعة موجات الراديو وأيضا نسبة ثابت العازل الكهربى. لايمكن أخذ استطلاع (WARR). إذا كان هوائى واحد ملائم فى نمط أحادى الإستاتيكية، وعندئذ يمكن فقط تحديد السرعة بواسطة المقارنة المباشرة مع تسجيل بئر مجاورة أو بمعرفة أهداف لأعماق مدفونة، والأخيرة شائعة الإستخدام وربما تعطى أعماق صحيحة إلى ±20%.

فى أشكال كلا من WARR أو CMP (8-15) يمكن تعريف ثلاثة أنواع من الموجات.

أ) موجات هوائية تسير من الباعث للمستقبل خلال الهواء عند سرعة موجات راديو فى الهواء (0.3 م/نث).

ب) موجة مباشرة، تسير مباشرة من الباعث خلال وسط قريب من سطح الأرض (V_l).

ج) موجه منعكسة، من الباعث إلى اسطح الفاصل والتى تنعكس إلى المستقبل، أيضا عند سرعة موجات الراديو فى الطبقة الأولى (V_l).

يظهر الرسم البيانى للعلاقة بين الزمن (T) والمسافة (X) كقطع خط مستقيم نتيجة تنقيط فترات الزمن لكلا من موجات الهواء والموجة المباشرة، ولكن يكون الشكل للموجات المنعكسة خط منحنى (مخروطى). يكون زمن الحركة العادية الخارجية (Normal Move Out NMO) هو الإختلاف فى فترة الزمن بين زاحة الصفر وإزاحة محددة (شكل 8-15ج). عندما تنقط بيانات فترة الزمن على رسم بيانى مجاورة من الدرجة الثانية T^2، X^2 تظهر جميع القطع كخط مستقيم (شكل 8-15د)، ويساوى التدرج العكسى لكل خط مربع سرعة موجه الراديو المقابلة.

عبر الفترة من صفر إلى t_o تحدد سرعة الراديو لطبقة واحدة، عندئذ يؤدى جذر مربع السرعة V_{RMS} لقيمة متوسط الزمن. أيضا عندما يحصل على معلومات فترات الزمن للعواكس العميقة، فإن السرعات المحددة من التحليل السابق لكل طبقة هى قيم جذر مربع السرعات. للتحديد الجيولوجى أكثر من معنى سرعى لطبقة معنية، عندئذ يكون من الضرورى إستخدام معادلة دكس Dix لاستخراج "فترات السرعة". وهذا التحليل بالضبط نفس المستخدم مع نتائج السزمية المنعكسة.

3.4.8 مابعد تسجيل البيانات المعالجة Post-Recording Data Processing:

يمكن فقط معالجة البيانات الرقمية بعد التسجيل، وغالبا ماتحدد درجة المعالجة بواسطة: أ) ميزانية ملائمة، ب) زمن ملائم، ج) نوعية البيانات، د) قدرة معالجة ملائمة (سوفت وير، هاردوير)، ر) ضبط التفسير النهائى بأكثر من تحليل، س) التركيبات الواضحة على التسجيل الخام تميز معالجة واضحة البيانات كميا.

تكون الخطوة الأولى ترشيح البيانات لكى تركز الصورة، وهذه كافية لكثير من التطبيقات لكى توقع الظواهر التحت سطحية. لتحليلات أكثر وضوحا، يكون من الملائم إستخدام مدى واسع من المعالجة، لغاية وشمول نفس إنشاءات بيانات سيزمية الإنعكاس المتعددة تكون شاملة صفة التحليل.

نظام الرادار المنتج بواسطة شركة أنظمة المسح الجيوفيزيقية التى لها مجموعة حقائب معالجة نتائج ملائمة تسمى محللات نتائج إدارية Radar Data Analyser RADANTM. يمكن تحويل هيئة المعلومات المسجلة على وسط مغناطيسى، نموذجيا 5-2 جبوبت Gbyte شريط مغناطيسى، أو فرص مجنيتوضوئى من SEG2 إلى هيئة SEGY لكى تكون متلائمة مع صناعة عمل المحطات السيزمية العيارية. تبسط أنماط ترتيب المعلومات فى ملف لبيانات الراديو بواسطة SEG الهندسية ولجان الجيوفيزياء. بالمثل، الحساسات والسوفت وير لها مدى لتصميمات سوفت وير الحاسب الآلى للاستخدام مع نظام نبض EKKO، والذى ينتج بيانات فى أنماط ملائمة مع معالجة سوفت وير للبيانات السيزمية.

من الأهمية الخاصة، القدرة على إعادة تخزين العلاقات الهندسية التحت سطحية خلال عملية الإزاحة. يمكن إزاحة حيود القطع المخروطى خلفا إلى القمة من التى تشأ منها الحيود. يمكن تصويب الخطوط السطحية المائلة لمكانها الصحيح بالنسبة لمواقعها الأرضية. خلافا لذلك، من الممكن حل الأخطاء الهامة وذلك بالتأكد بأن ظاهر موقع تحت سطحية معينة يكون مضبوط على تسجيل الرادار الخام، بينما تكون فقط صورة مؤثرة وربما تكون منقولة من وضعها الحقيقى بواسطة مسافات أفقية ورأسية معينة. أساسيات الإزاحة موضح بتوسع فى السيزمية الإنعكاسية.

طرق أخرى للتحليلات الكمية تكون ملائمة خلال التحليلات التخيلية، حيث يمسح التسجيل الرادارى لاتجاهات التحليل وذلك بالتحرى بأكثر من عملية على بيانات أشكال الموجات، فمثلا يمكن إستخراج إتجاهات مثل الإنعكاسات المائلة فى إتجاه معين. إحصائيا، يمكن تعريف إتجاهات معينة من التسجيل الكلى وتظهر أوتوماتيكيا كخطوط تفسر لتحليلات متتابعة يدوية.

5.8 تقنيات التفسير Interpretation Techniques:

1.5.8 التفسير التخطيطى Graphic Interpretation:

من كلا بيانات الرادار المماثلة والرقمية، يمكن تحليل نسخة تسجيلات الرادار الأصلية فى عبارات الإنعكاسات والحيودات وقياس أزمنة انتقال الطريقتين لكل الأحداث المميزة بواسطة التحسين أو القياس لقيمة ثابت العازل الكهربى النسبية الملائمة. ومن ثم الحصول على سرعة موجة الراديو الحقيقية – يمكن تحويل طريقى انتقال الأزمنة للأحداث المعينة إلى أعماق. ببيانات الرادار المطلوبة عبر شبكة منتظمة، والإنعكاسات المعروفة عبر مساحات معينة، يمكن إنتاج خرائط موقع طريقى انتقال الزمن، أو خرائط تساوى سمك الطبقة، الدالة على العمق أو سمك طبقة معينة، وكذلك إعطاء قياس حقيقى لسرعة موجة الراديو.

هذا التقريب خاصية سائدة فى الطرق المرصوفة المحللة، حيث يكون عدد الطبقات المميزة عادة مرتبطة مع الأعلى إلى اربع طبقات متوازية إلى شبه متوازية (طبقة بيتيومين مرتبطة أو خرسانة، طبقة حبيبية، أعلى

وأسفل شبه تدرج). يمكن ترقيم فترات الأزمنة لتفسير السطوح الفاصلة من ورق تسجيلات الرادار وباستخدام سرعة موجات الراديو الملائمة لكل من الطبقات المميزة فإنه يمكن تحديد الأعماق لكل سطح فاصل. هذه تتطلب اعتبارات حذرة من الدقة لالتقاط علامات الإنعكاسات المختلفة على تسجيلات الرادار وكذلك شبه الوثوق لسرعات موجات الراديو المستخدمة لاستخراج الأعماق. هناك اختلافات محلية فى سرعات موجات الراديو يمكن حدوثها خلال الخراسانات أو بسبب تغير محتوى الرطوبة. ربما تجهر المستويات الأفقية المفردة مثل التحت أساس فى طبقات، وهذه ربما تكتشف فى بعض الحالات ربما تختلط الحدود بين الطبقات ولذلك لايعرف من أين يأتى إنعكاس الرادار. هذه الحالة تحتاج لإجابة فى عمل رصف الطريق قبل إنتاج الرسوم النهائية. فى جميع الحالات، يجب عمل تقرير يمثل الأخطاء وحدود القياسات. لايوجد مثل هذا الشئ كقياس مطلق للعمق باستخدام طرق الإستشعار، خاصة الرادار.

من الممكن إظهار تفسيرات البيانات فى طرق واسعة المدى باستخدام أنظمة تصميمات حاسب آلى إضافية ((Comptuer-aided design (CAD)) وأحزمة سوفت وير ثلاثية الأبعاد الخطية. عند عدم التأكد للتغير المحلى فى خواص العوازل الكهربية للمواد الطبيعية لتحديد بداية مكان إتجاهات الإنعكاسات، تعمل مطالب عدم تبرير الدقة. طالما أن الخواص الكهربية والعازل الكهربى للمواد المستخدمة فى رصف الطريق معروفة جيدا، لذلك تتحسن الدقة والوثوق.

بالإضافة لتخريط سطوح الفواصل، يمكن استخدام التغير فى مظهر الخواص على تسجيل الرادار كدلالة على الحالات التحت سطحية. فمثلا تشير المناطق عالية التوهين (التخفيض) إلى نطاقات بمستويات توصيلية والتى ربما تصاحب التلوث، أو جيوب طينية. ربما تتضح الكهوف التحت سطحية بواسطة التوافق خلال فراغات التجويف، حيث يستدل على التسجيل الرادارى كمجموعة من سعات نبضات كبيرة والتى تكون محصورة جدا جانبيا. أيضا يستدل على نطاقات من أحجار صغيرة مدورة أو طبقات مشوهة بشدة بواسطة فقد الإلتصاق لأحداث الإنعكاسات الأولى. أيضا، ربما يستدل على انفصالات (تشققات) الطرق المرصوفة بواسطة تغيرات خواص مميزة على تسجيلات الرادار.

2.5.8 التحليلات الكمية Quantitative Analysis:

يعتمد أساس تحديد العمق على طلب معرفة سرعة موجات الراديو وتغيرها الرأسى والأفقى خلال منطقة المسح المعطاه. ويمكن الحصول على الصورة التفسيرية لمجال السرعة عند معرفة بيانات CMP/WARR. تبعا لذلك يستدل جيولوجيا من قيمة دالة سرعات موجات الراديو، أو بأكثر خصوصية يمكن استخدام ثابت العازل الكهربى النسبى للتفسير الإضافى.

يعين معامل الإنعكاس وكذلك التغير فى ε_r من تفصيلات كمية منسوبة لتحليل من بيانات تسجيلات الراديو مثل تحليلات السعة، وعندئذ يكتسب كثير من الفهم الشامل للموقع. فى الحقيقة يأخذ نوعية بيانات مناسبة واستخدامها ومعالجتها بعناية، فإنه يمكن معرفة ملائمة كثيرة عن دراسة طبيعة الصخور للجيولوجيا المعطاه أو نظام هندسى مقارن. بخلاف ذلك، يحتاج لمستوى معادلة وتحليل عالى أكثر أهمية لتفسير تميز مطلوب، مثل التنقيب **Wide-Angle Reflection and Refraction (WARR) Sounding:** استخدام الرادار الأرضى تطور عبر السنوات القليلة القادمة.

3.5.8 تفسيرات انهيارات المناجم Interpretational Pitfalls:

تفسيرات بيانات الرادار تشارك فى عمومية انهيارات المناجم وأهمها:

1.3.5.8 عدم قدرة تميز سطح الأرض، وذلك لخطأ تميز كل من الشريط الأسود على تسجيلات الرادار السوداء والبيضاء المتسببة بواسطة مستوى منفصل. أسهل طريقة لتحديد مستوى الأرض، خاصة بهوائى تردد مركزه ≤500 ميجاهرتز هى رفع وخفض الهوائى فوق سطح الأرض. تظهر القرنة (رأس مؤنف) المميزة على تسجيل الردار وتدل بوضوح أين يمثل مستوى الأرض.

2.3.5.8 الصعوبة الحقيقية عبر تحديد عدد من طبقات ضوئية عالية، خاصة مع تشابه بيانات الرادار. كيف يمكن أولا تعريف الانعكاسات المعرفة من التعددات، إحداث ثانية ونهايات الإنعكاسات الأولى الأخرى؟. أكثر من هذا عندما تتقاطع الأشكال الموجيه كل للآخر فإنها تسبب تداخل، الذى ربما يعطى ظهور "نهاية" شريط واحد أسود يقابل الآخر. جيولوجيا، ربما يكون هذا تفسير خطأ حيث مستوى واحد متناكب (متماس) المقابلة للآخر. باعتبار أن حالات الجيولوجيا غير واضحة التسجيل راداريا، عند ذلك يوجد تبرير لتحليل كمى مفصل إذا سجلت البيانات رقميا. إذا أنتجت فإن تواجد قليلها يعطى حل المشكلة. يمكن إستخراج التحليل الكمى كاحتمال احداث متكررة (هذه الأحداث تكون زمنية فقط وتكرر لبداية الأحداث الأولى)، وبواسطة إعادة (الدورات) يمكن تحديد شكل إنخفاض تابع الموجه، وعندئذ يعرف أحداث الإنعكاس الأولى. يساعد تتابع الإزاحة على إقلال حيود المخروط، وبواسطة إعادة تخزين بعض الهندسة التحت سطحية للانعكاسات الأولية، يمكن أن تساعد كل تفاصيل جيولوجية هامة كانت مبهمة.

الصعوبة فى التميز بين انعكاسات الجيولوجيا الهامة وترديدات (صدى) دخيلة، تضاعفات، شوشرة، حيودات، قطاعات غير واضحة على بعد، ...إلخ، تجعل فى بعض الحالات صعوبة تحديد التربة والتتابع الصخرى. فى حالات أخرى أمكن التحديد الاستراتيجرافى بسهولة تماما فى شكل (8-17) قورن التسجيل المشابه الذى حصل عليه فى 1976 مع تسجيل رادارى رقمى حصل عليه لنفس المنطقة أكثر حداثة. بينما يظهر التركيب الاجمالى فى 1976 يماثل التسجيل فإن التفاصيل تكون أكثر حدة فى التسجيل الرقمى.

توجد مواقع يكتشف عندها مستوى الماء على تسجيل الرادار وأخرى لايكتشف عندها.. هذا بسبب أن نسبة سمك نطاق الخاصية الشعرية إلى الطول الموجى لموجات الراديو تحتاج أن تكون صغيرة (السمك < الطول الموجى) لكى تمد تباين كافى فى ثابت العازل النسبى بين المواد المشبعة وغير المشبعة ليجمد جزء هام من الطاقة شكل (8-18). إذا كان نطاق الخاصية الشعرية سميك بالمقابل مع الطول الموجى، عندئذ يكون معدل تغير ثابت العازل النسبى مع العمق خلال هذا النطاق صغير.

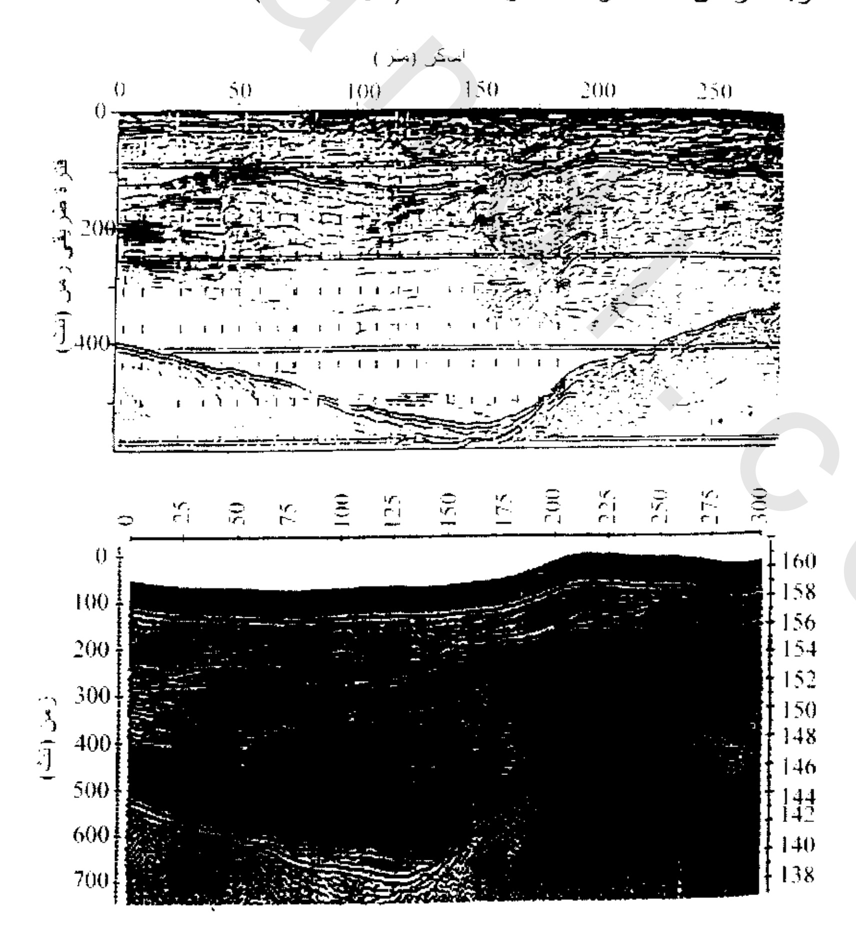
تأثير هذا أنه لكل زيادة تزايدية فى ثابت العازل النسبى، ينعكس جزء من الطاقة الساقطة كذلك تكون الطاقة الكلية المنعكسة ملوثة (متأثرة) من نطاق الخاصية الشعرية وعندئذ يكون سعة حصيلة الإنعكاس منخفضة جدا ولاتساعد فى توضيح أى اكتشاف. فى المقابل، إذا كان الإنتقال من جاف إلى تشبع فإن التقدير اللحظى (مثل تغير فى ثابت العازل النسبى من 6-25)، عندئذ فإن معامل سعة الإنعكاس (R) تكون 0.34 والتى تعتبر مرجع (عائد) قوى.

6.8 تطبيقات وحالات سيرية Applications and Case Histories:

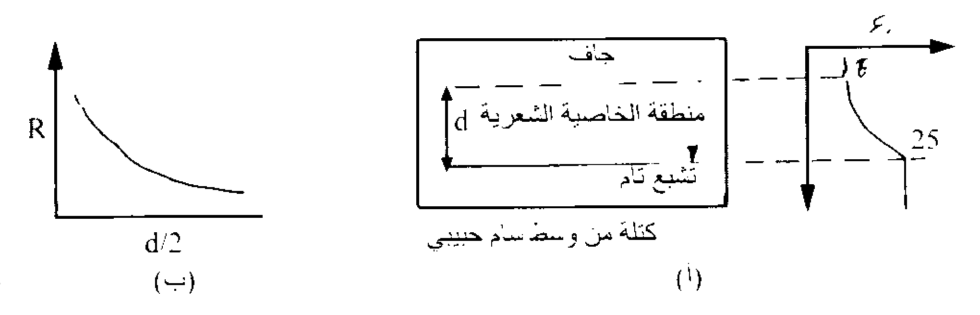
1.6.8 التتابع الرسوبى Sedimentary Sequences:

من الواضح أن جهاز اختراق الرادار الأرضى ملائم لتخريط التتابع الرسوبى بدرجة عالية من خصوصية تحليل على كلا من الأرض وخلال الماء العذب. ويوضح شكل (8-16) مثال إصلاح فى نوعية بيانات فى تخريط استراتجرافية التربة. ينتج الفشل العام لتحليل تسجيل الرادار المطلوب فى الإستقصاء الاستراتجرافى من زيادة تفسير البيانات. غالبا، تؤخذ الأحداث المتلاحمة الظاهرة كدلالة على سطوح فواصل رسوبية مفردة بدون الإعتبار المطلوب لطبيعة طبقة سطوح فواصل دقيقة، حدود التحليل الرأسى والأفقى، الحجم المحدد لنطاق فرسنل Fresnel الأول، تأثيرات الإزاحة، الشكل المعقد لتتابع الموجى الساقط ...إلخ، تكون لعمليات البيانات السيزمية دور هام مناسب للتمثيل فى هذه التطبيقات.

يمكن نشر الرادار الأرضى عبر بحيرات متجمدة ويستخدم لإستقصاء رسوبيات تحت البحيرات خلال الماء العذب لأكثر من 27 متر عمق. يرى شكل (8-19) بحيرة الثلج كمنبسط صخرى متزن والذى عليه يقطر (يجر) الرادار. فى الواقع يكون الماء العذب خلال البحيرة ناقل لموجات الراديو وتكون رسوبيات البحيرة واضحة بجلاء خلال 8-4 متر من الماء العذب. لمثل ذلك يمكن إستخراج مستويات أفقية مفردة خلال الراسب من تحليل نظام هوائى 100 ميجا هرتز. يلاحظ أن الإنعكاسات المرتدة من قاع البحيرة تتكون على الأقل من أربع نطاقات بسبب حلقية المصدر. أكثر من هذا، فترة التقاطر الأصلية (حول 70 نت)، ربما

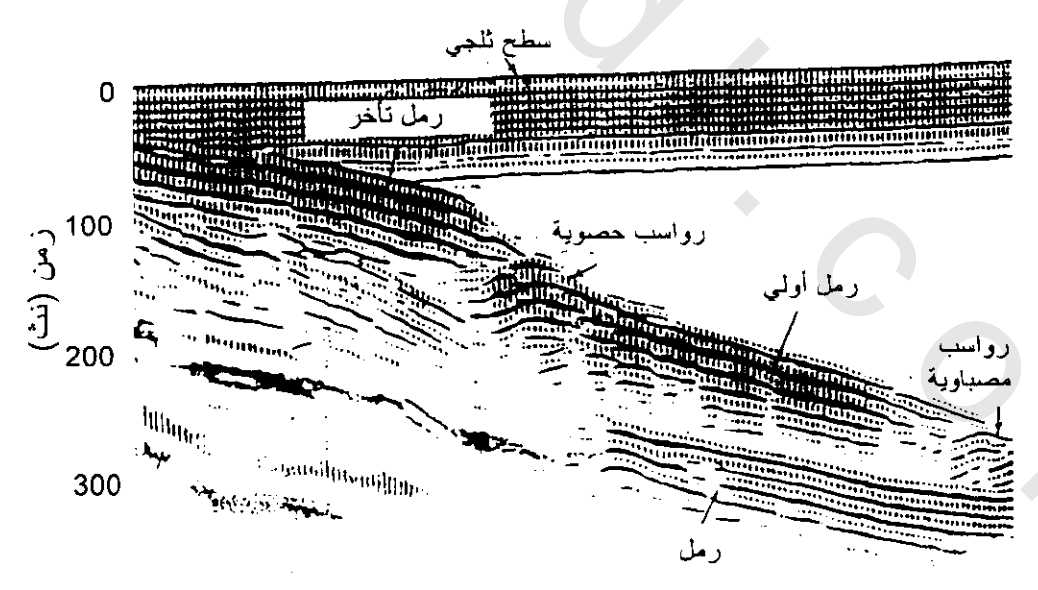


شكل (8-17): تسجيل رادارى حصل عليه فى 1976، قورن بآخر فى 1990 (بست وسبيس Best and Spies 1990)



شكل (8-18): تأثير سمك منطقة الخاصية الشعرية على قوة الإنعكاس الناتج من مستوى الماء الجوفى. أ) سمك منطقة الخاصية الشعرية أى فوق مستوى الماء الجوفى لها ثابت عازل نسبى (ε_r) والذى يزداد إلى أكبر قيمة عند التشبع التام ، ب) معامل سعة الإنعكاس يقل كنسبة لسمك منطقة الخاصية الشعرية إلى زيادة طول موجات الراديو الساقطة

يخطئ التفسير بواسطة بعض دلالات على وجود أكثر من 6 متر من الثلج (سرعة موجة الراديو خلال الثلج (0.167 متر/نث). السمك الحقيقى 0.15 متر فقط. فترة زمنى الإنتقال خلال طبقة الثلج يكون حول 2 نث فقط. يرى هذا أن إستخدام هوائى منخفض التردد (100 ميجاهرتز). بالقرب من ظواهر السطح لاتحل مطلقا حيث تكون مختفية كلية خلال التقاطر المزدوج الأرضى الأصلى. يمكن حساب سرعة موجات الراديو خلال الماء العذب بمعرفة عمق الماء (حوالى 4.8 متر) وفترة الزمن الكلى (حول 300 نت). هذه القيم تعطى سرعة موجات راديو 0.032 متر/نث (من $2x\ \frac{4.8}{300}$)، بإهمال طبقة الثلج وبفرض فقد وسط قليل. كتدقيقين، ثابت العازل الكهربى النسبى للماء 81 والذى يعطى سرعة موجات راديو $\sqrt{8.1}/0.3$ أو 0.33 متر/نث، أنظر معادلة (8-1).



شكل (8-19): تسجيل رادارى عبر ثلج مغطى بحيرة، حصل عليه باستخدام هوائى 100 ميجاهرتز. أكبر عمق للماء 48 متر، عرض البروفيل 25 متر ومدى فترة طريقى الزمن 500 نت (ميدللت 1993 Medllett)

2.6.8 هيدروجيولوجية الماء وتلوث الماء الأرضى :Hydrogeology and groundwater Contamination

أصبحت قياسات الحماية البيئية أكثر صرامة (شدة)، ويزداد الضغط على حفظ نوعين من مصادر الماء الأرضى، لذلك ينمو احتياج تعين تلوث المياه الأرضية. وقد وضح بعض المؤلفين كيفية إستخدام الرادار الأرضى لتحديد وعمل خريطة إنتشار تسرب مياه ملوثة من مواقع الزبالة. يرى شكل (8-20أ) تخطيط خطى لموقع المنطقة. على طول خط الرادار المشاهد فى هذا الشكل يلاحظ أن التربة تتكون من رمل دقيق يعلو صخر أساسى والموجود على عمق حوالى 20 متر. ويرى شكل (8-20 ب) تسجيل رادارى لمسح رادارى باستخدام نبض نظام رادار EKKOIII.

عندما يحدث اختراق لموجات الراديو فى رواسب سطحية، فترى إنعكاسات يظن أنها بسبب مستويات أفقية لحبيبات ذات أحجام وكثافات مختلفة، وعندئذ تختلف هذه الإنعكاسات عن إنعكاسات محتويات رطوبة التربة. أيضا يكون من الواضح جدا على هذا القطاع أنه توجد مناطق يحدث عندها أما إنعكاسات ضعيفة جدا فقط، مثل عند 150 متر على طول البروفيل حول 400 نث طريقى حركة الزمن، أو تخفض الإشارات تماما. يكون إنخفاض إشارات الرادار شديدة عند وجود تلوث مصاحب للتوصيلية الكهربية العالية.

أنشئت عدة آبار على طول خط المسح وقيست توصيلية الماء الأرضى. يشير أسفل الخط المتصل فى شكل (8-20ب) الموصل لمجموعة نقط سوداء بأن توصيلية فراغات الموصل المملوءة بالماء تزيد عن (10 ms/m)، وهذا يدل على أن الرسوبيات سطحية. وكما أنه معروف أن الرسوبيات السطحية تكون معتدلة الإنسجام فى خواصها غير منطقة الموقع، لذلك يقترب إنتشار التلوث (شكل ريش) للسطح بين 40-60 متر (كما اتضح بواسطة بيانات الآبار) لذلك تمتد أيضا بين 100، 150 متر على طول خط البروفيل عند عمق حوالى 6 متر أسفل مستوى الأرض. الجزء الثانى من الإنتشار لم يتوقع، ولذلك فإن نتائج المسح الرادارى نافعة جدا فى تزويد هذه المعلومة الإضافية. يكمل المسح التوصيلى الأرضى عمل الرادار لتحديد تغيرات خاصة فى التوصيلات التحت سطحية بدون إضافة حفر آبار والتى ربما تعمل على نشر أكثر التلوث رداءة.

حيث أمكن توضيح أن المسح الرادارى نافعا للجيولوجيا التحتية الميحطة وحالات أرضية أخرى، لذلك يمكن إكتشاف التلوث بواسطة الرادار، وعندئذ يمكن تخريط إنتشار التلوث. بواسطة الأخذ فى الإعتبار إعادة المسوحات على طول نفس التقاطعات الأرضية، فإنه يمكن إكتشاف التغيرات كدالى للزمن. أكثر من هذا، حيث يؤخذ فى الإعتبار القياسات الإصلاحية، فيمكن مراقبة نجاح مثل هذه المعالجة بواسطة الرادار.

فى بعض الحالات المعينة، يمكن إكتشاف التلوث الحقيقى نفسه باستخدام الرادار، وربما تكتشف المحتويات التى منها ينشأ التلوث.

يوضح شكل (8-21) تسجيل رادارى عبر ثلاثة براميل مدفونة من حالة تسرب محتويات 55 برميل مدفونة. يلاحظ خاصية حيودات الناتج من البراميل والتى وضعت بجانب بعضها. أيضا، يلاحظ أن شكل موجات الرادار الساقطة تتكون من أكثر من شريط، ولذلك يعطى حيودات البراميل ظهور حيودات منخفضة، وهذه تكون نهايات الحيودات الأولى.

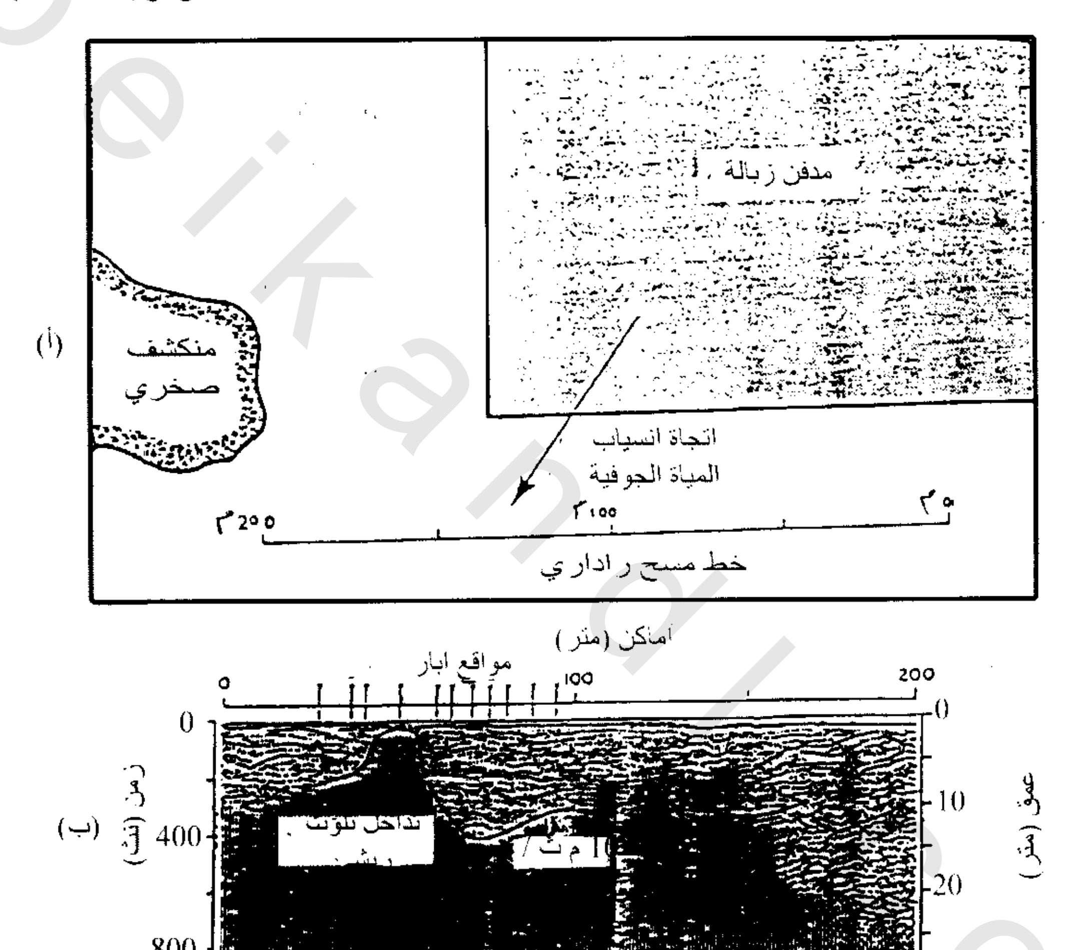
الزراعة والتحول الطبيعى وامتدادات المياه الصالحة للشرب، لذلك طبقت بعض الأمثلة على حالات هيدروجيولويجة فى نزرلاند Netherlands حيث يوجد أربعة أهداف رادارية رئيسية.

أ) تكتونية وتركيبات الرسوبيات.

ب) مستوى الماء خلال رسوبيات الرمل فى ركوميات جليدية مدفوعة، شرفات نهرية وكثبان رملية.

ج) مستويات مياه جاثمة علوية مميزة من مستويات المياه الإقليمية.

د) الإمتداد والإستمرار الخاص للطين المدفون وطبقات خشبية نصف متفحمة خلال الرسوبيات السطحية.



شكل (8-20): مقطع رادارى يرى تأثير تدخل تلوث ريشى بسبب هجرة رشح من مدفن زبالة (دافس وأنان Davis and Annan 1989)

حيث يؤثر هبوط مستويات الماء الجوفى ونوعية الماء الفاسد تأثيرا هاما على الزراعة والتحول الطبيعى وامتدادات المياه الصالحة للشرب، لذلك طبقت بعض الأمثلة على حالات هيدروجيولويجة فى نزرلاند Netherlands حيث يوجد أربعة أهداف رادارية رئيسية.

أ) تكتونية وتركيبات الرسوبيات.

ب) مستوى الماء خلال رسوبيات الرمل فى ركوميات جليدية مدفوعة، شرفات نهرية وكثبان رملية.

ج) مستويات مياه جاثمة علوية مميزة من مستويات المياه الإقليمية.

د) الإمتداد والإستمرار الخاص للطين المدفون وطبقات خشبية نصف متفحمة خلال الرسوبيات السطحية.

يتطلب تسجيل الرادار استخدام نبض EKKOIV بتردد هوائى 25 ميجاهرتز ومسافات محطات 1 م كما فى شكل (8-22) البروفيل المحصول عليه كان عبر ركام جليدى مدفوع مقارن أساسا بالرمل، والقطاع المصحح طوبغرافيا له مقياس نموذجى أفقى ورأسى. يظهر مستوى الماء كإنعكاس أفقى بسعة عالية. فى الجزء الشمالى من القطاع يكون الإنعكاس مستمر بكثرة بينما يقل فى الجنوب (أكثر جزء مرتفع). أدى هذا لإقتراح أن عمق اختراق الرادار هنا يكون عند حدوده وأن العمق الأكبر يوجد تحت مستوى الأرض إلى مستوى الماء فى الجزء الجنوبى حيث فقر نوعية البيانات. مازال يظهر مستوى الماء عند 42 أسفل مستوى الأرض وذلك باستخدام سرعة موجات راديو 0.145 متر/نث (مشتقة من قياسات CMP). ايضا يشير تسجيل الرادار إلى إنعكاسات من سطوح فواصل فوق مستوى الماء. تصاحب الإنعكاسات المائلة سطوح فواصل بين طبقات رملية ذات أحجام حبيبات مختلفة أو بين الرسوبيات الرملية والطينية. فى كلا الحالتين تشير سطوح الفواصل لتغير فى محتوى الرطوبة وعندئذ يظهر تباين فى ثابت العزل الكهربى النسبى. يظهر بروز العاكس فى وسط القطاع بسعة كبيرة ومائل فى إتجاه الجنوب. توجد إزاحة رأسية (حول 2 متر) فى إنعكاس مستوى الماء حيث تقطع بواسطة واقعة ميل. يظن أن التدرج فى مستوى الماء بسبب طبقة الطين المائلة والتى تعطى عاكس شديد الميل.

بالإضافة لإستقصاءات لمصدر المياه الأرضية، يوجد إحتياج متنامى لتخريط لتلوث المياه الأرضية. هذا التلوث ينشأ من ترشيحات مدافن الزبالة. يسبب دخول المياه المالحة فى الأرض وتلوث الهيدروكربون الطبيعى (عن طفلات الزيت...إلخ) وإنسياب كيميائى (تداول أو أشياء أخرى) عبر مقاييس الزمن والتى مداها من ساعات قليلة إلى عدة سنوات تجاوز إستثمار المياه العذبة. مثال ذلك، إنسياب كيميائى من إنقلاب خزانات السكك الحديدية والتى روقبت (لوحظت) بإستخدام الطرق الجيوفيزيائية وتسرب نواتج البترول من الأنابيب عند المصفاة والتى تتجمع تحت الأرض عند مستوى الماء المخرط.

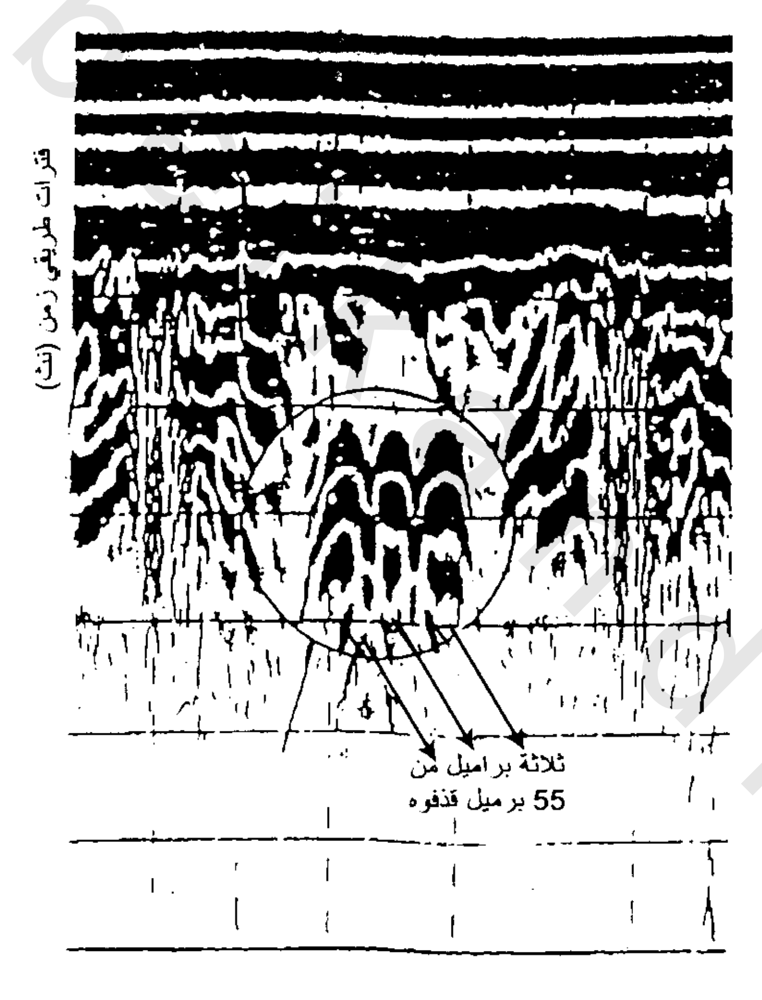
تهاجر بعض الكيماويات من مصدر التلوث بسرعة شديدة ومن الصعوبة إكتشافها بواسطة أى وسيلة. ربما يتطلب ذلك زيادة كمية البحث المأخوذة فى الإعتبار لاختبار إطالة تلوث الماء الأرضى، وذلك بسبب وجود كميات كبيرة من القشريات التى تلوث ماء عضوى ذا كثافة عالية وكذلك طور سائل غير مائى مثل الفوق كلوروائيلين (PCE) الكيميائى الأساسى الهام (أحد المركبات الأساسية للتنظيف الجاف ومنظف معدنى صناعى). أيضا من الكيماويات المعروفة جيدا ثلاثى كلورومثيلين (TCE) وثنائى كلوروميثان (DCM) المستخدم لدهان أعمدة فصل الأجزاء النفطية الخفيفة ولإزالة الشحوم المعدنية. بمجرد إستخدام هذه المواد فإن كمية صغيرة منها تتسرب حول مخازن المنظفات الجافة، جراجت خدمة السيارات ونسبة معينة من أحجام هذه المواد يتم التخلص منها تحت الأرض فى مدافن الزبالة، والمستنقعات القذرة، وكمتبقيات على مواقع الصناعة القديمة.

3.6.8 تطبيقات هندسية على إنشاءات الإنسان

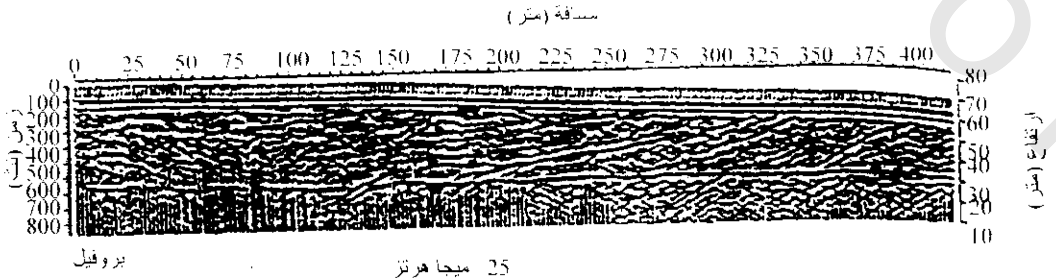
Engineering Applications on Man-Made Structures:

مثلا، يستخدم الرادار للتأكد بأن شبكة التقوية وضعت عند المستوى الصحيح خلال بلاطات (ألواح) المسلح. فى بعض الحالات، تزيح عملية صب الخرسانة الشبكية. لذلك بدلا من وضعها خلال منتصف البلاطه تدفعها للقاع ولذلك لاتؤدى الوظيفة التى من أجلها قصدت. بالمثل، يمكن أختبار قضبان التقوية بإستخدام رادار ذا تردد عالى (500 ميجاهرتز، 900 ميجاهرتز أومركز تردد عالى) كما فى شكل (8-23).

أى شد يعمل لملأ مواد، والذى يتكون كثيرا من الدولبرايت، يظن أنه متشابهة فى خواصه فى كل مكان. يشير إستخدام المسح الرادارى بهوائى 120 ميجاهرتز إلى شبه طبقة أفقيه خلال الملأ والتى فسرت طبقة مصاحبة للطبقات المدمجة. هذه الطبقات نتجت بواسطة عربات المقاولين الثقيلة عبر الملأ على طول الطريق. تظهر إنعكاسات مميزة من هذه المستويات والتى تحدث نتيجة أقلال محتويات رطوبة التربة (وعندئذ يتبدل ثابت العازل الكهربى) من المستويات المدمجة.

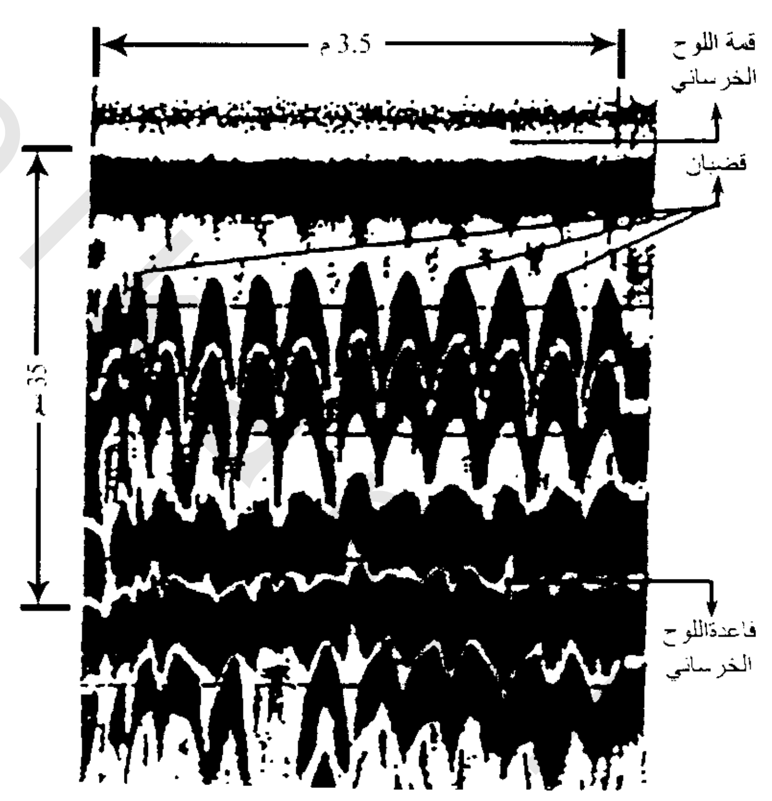


شكل (8-21): تسجيل رادارى فوق ثلاثة براميل موضوعة جنبا لجنب



شكل (8-21): تسجيل رادارى حصل عليه بهوائى (25 ميجاهرتز) عبر ثلج رملى – ركام جليدى مدفوع. إنعكاس مستوى الماء الجوفى يظهر عند إرتفاع 30 متر. يلاحظ أن الإزاحة الرأسية فى هذا الإنعكاس خفيفة بينما الإنعكاس المائل بسبب طبقة طينية قاطعة مستوى الماء الجوفى عند 185 متر

أقيمت سدود حجز المياه على طول أنهار ديوتش Dutch عند مواقع مختلفة بمرشحات حبيبية. غرض هذه المرشحات إقلال الماء الأرضى الكامن من داخل وأسفل السدود لكى يزيد الإتزان وتمنع تحطم طبقة الطين عند الجانب المحجوب للسد شكل (8-24 أ). يجب أن يكون الحصى المائى للرشح فى تماس هيدروليكى مع الطبقات الرملية أسفله. عملت المرشحات لمدة عشر سنوات ولكن المعاناة أن تصبح سدود بواسطة الجزيئات الدقيقة. تبعا لذلك يكون ضرورى مراقبة المرشحات دوريا، ومن الأفضل إستخدام طرق غير هدمية. عادة يستخدم بنجاح إختراق الرادار الأرضى فى مثل هذه الإستقصاءات.

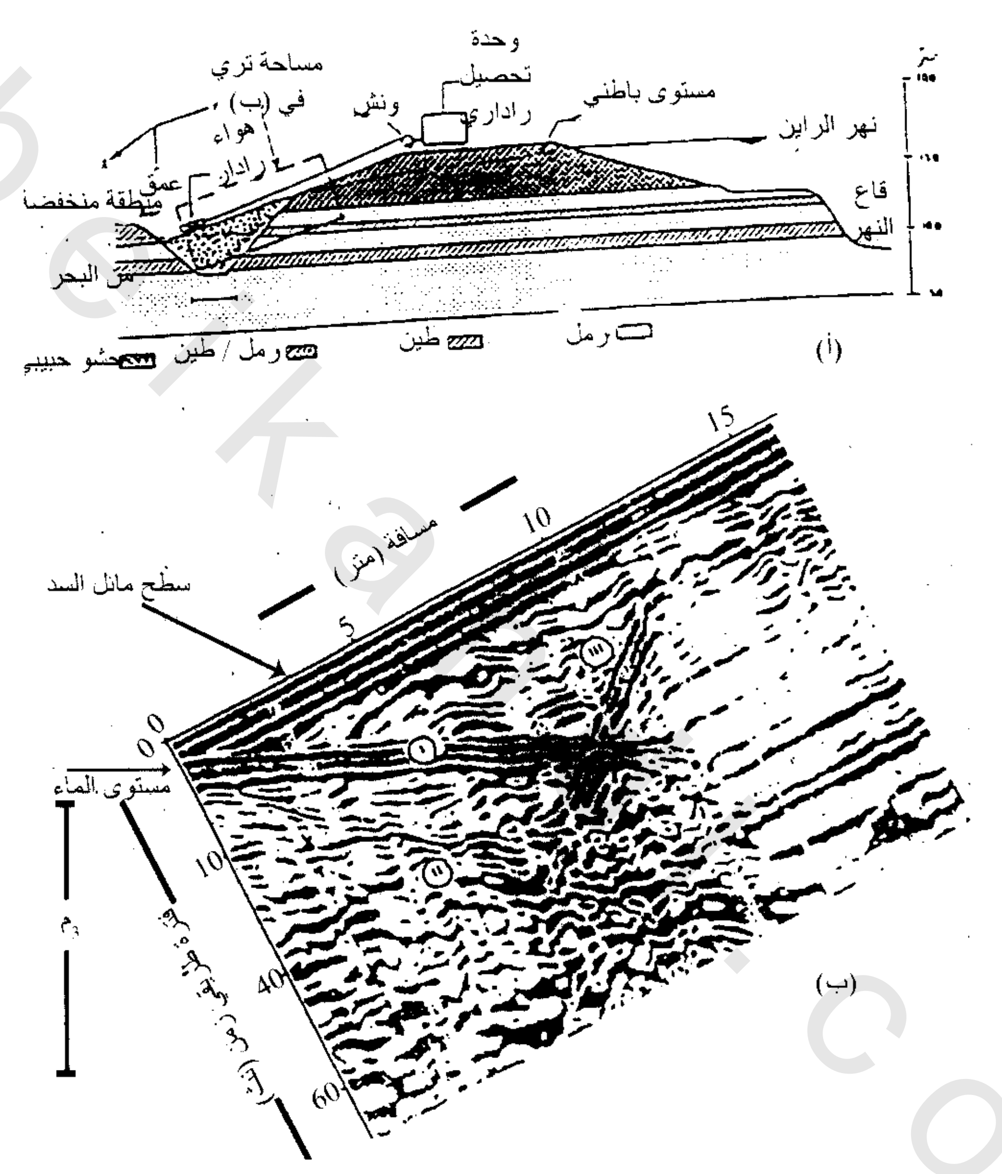


شكل (8-23): تسجيل رادارى نموضجى سجل ساتخدام حوالى 900 ميجاهرتز عبر قضبان تقوية خلال لوح مسلح

ينفذ المسح الرادارى عندما يكون مستوى الأرضى أقصاه وأيضا عند أدناه، عبر فترة الزمن لعدة سنوات. يوضح شكل (8-24ب) تسجيل رادارى بسيط والذى حصل عليه باستخدام هوائى 55 ميجاهرتز بنظام رادارى GSSI. ينتج مستوى الإنعكاس الأفقى من مستوى الماء (مع تعدده). يكون سبب ظهور الإنعكاس III بواسطة مرشح-حد فاصل السد. ربما، يلاحظ عدم تصوير أحد من مستويات الطبقات الأفقية خلال السد نفسه. فى الحقيقة، أكثر احتمالا، يرى النطاق يمين المرشح. حد فاصل السد لإنخفاض معين لطاقة الرادار، بسبب وجود رمل طينى مشبع بالماء وطين.

تساعد طريقة الرادار الأرضى جيدا لإكتشاف الطرق المرصوفة وغطائية الكبارى المصنوعة من طبقات منفصلة. أيضا، يمكن إستخدام الرادار لقياس اسماك الطبقات وإكتشاف مناطق الإنفصال، حيث يسبب إنفصال طبقة واحدة عن الأخرى ضعف فى الطريق. عادة، تستخدم هوائيات عالية التردد نموذجيا مركز ترددها 900 ميجاهرتز، طالما يكون عمق الإستقصاء صغير (عادة <1 متر)، حيث يثبت واحد أو أكثر من هوائى لهيكل على

عربة لكى يحفظ ثابت ويعرف هندسته. تساق العربة على طول الطريق الممسوح بسرعات تبلغ عدة عشرات كيلومتر/ساعة، يدل منظر الخط البيانى الخارج لنطاقات الشذوذ والتى تدل على مشاكل كامنة خلال قاعدة الطريق. أيضا، يمكن إستخدام الرادار للتأكد من وضع السمك المعين لمادة طبقة تحت الأساس أثناء الإنشاء أو وجود مساحات بطبقة تحت الأساس ناقصة أو معيبة.



شكل (8-24): أ) قطاع لسد متماس لنهر الراين، يوضح هندسة تحت تركيب، وتنسيق لقطاع رادارى يرى فى (ب) تسجيل رادارى (300 ميجاهرتز) مأخوذ عند مستوى ماء مرتفع (فيجتروفاندين Feijter and Van Deen 1990)

تعتبر تطبيقات طريقة الرادار من الأهمية للفحص خلال الأحجار وقوالب البناء؟ أيضا، تستخدم الطريقة لتوضيح التكوينات الداخلية لحالة وتاريخ بناء واجهات المبنى.

فى أغلب هذه التطبيقات، تكمل طريقة الرادار طرق اختبارات أخرى غير هدمية، مثل الصوتيات (مثال ذلك فى مسوحات غطاء الكبارى)، قياسات كثافة نووية وتصوير حرارى (مثال ذلك دراسة الطرق). وكمثل

طرق الجيوفيزياء، تؤخذ بعض نتائج أرضية حقيقية لتوضيح ملائمتها لغرض المقارنة. مثال ذلك فى دراسة الطرق الأسفلتية تستخدم عينات لوبية لتمد مقارنة نقطة لنقطة مع تسجيلات الرادار. أكبر ميزة لطريقة الرادار انها كلية غير هدمية.

4.6.8 الفجوات خلال تركيبات صنع الإنسان Voids Within Man-Made Structures:

يستخدم الرادار بإتساع لفحص حالات طوب بطانة الأنفاق والمجارى. فى الحالة الأخيرة، غالبا يستخدم الرادار مع دائرة تليفزيونية مغلقة (CCTV).

هناك نمطين لطرق عمل الرادار خاصة لمثل الفحوصات السابقة:

الأولى: سرعة موجات الراديو فى الهواء أسرع حوالى ثلاثة مرات عنها فى المواد الصلبة ولهذا تقدم تأثير سرعة محققة فى الإرتباط مع فجوات معينة.

الثانية: يحدث توافق لطاقة طول موجة الراديو الساقطة عندما يكون هذا الطول الموجى كما هو أو أقصر منأبعاد الفجوة.

يرى شكل (8-25أ) تسجيل مسح رادارى لمجرور. من الرسم يتضح وجود فجوات هوائية فوق قمة المجرور والتى استخرجت من تسجيل الرادار. يظهر على قطاع الرادار ظاهرتين، الأولى هى وضوح الإختلاف فى مكان قمة المجرور على كل جانب من الفجوة شكل (8-25ب). والثانية توضح شاذة معينة الشكل مصاحبة لهواء الفجوة. استخدمت راصدة رأسية لهوائى 500 ميجاهرتز أنظام رادارى GSSISIR-3 لتوضيح البيانات المكتسبة.

يرى شكل (8-26) مثال جيد لتسجيل رادارى لموقع سرداب. عمل هذا المسح البروفيلى الخاص بزاوية عمودية على طول سطح كنيسة شارلن Charnal House. يتضح الحد الفاصل بين الحجر والهواء لسطح الكنيسة بانعكاسات لامعة شديدة السعة، كما يلاحظ أنه عند حوالى 6 نث عبر قمة إنعاكاس سطح الكنيسة، يوجد إنعكاس أكثر ضعفا والذى مكون من الشكل كالإنعكاس من السرداب. هذا يفسر أن هذا الإنعكاس من قمة سطح خط الأحجار المستخدمة لإنشاء سقف قوس الكنيسة

الإنعكاس القبى اللامع عند قاعدة تسجيل الرادار ليس بسبب كوم الدبش على أرضية الكنيسة ولكن إنعكاس ناتج من الأرض نفسها. هذه القبة ترجع إلى تأثير السرعة المحققة من الهواء المالئ للسرداب. عندما يملأ الهواء فجوة على عمق 2 متر فإن الإنعكاس من الأرض يحدث عند فترة طريقى زمن 26 نث أمام إنعكاس من عمق مقارن خلال التربة المجاورة. يلاحظ أيضا أن الإنعكاس من فاصل الحجر-الهواء عند سطح الكنيسة له شكل رصاص أبيض أى موجب ..إلخ، بينما الإنعكاس من الأرض (فاصل الحجر – الهواء) له شكل موجب عندئذ يكون سالب أبيض. يشارك التغير القطبى لمرور موجات الراديو من أ) وسط بطئ إلى سريع (حجر إلى هواء) وعندئذ، ب) وسط سريع إلى بطئ (هواء إلى حجر). تبعا لذلك، يتغير طور الإنعكاس كما تفعل إشارة معامل الإنعكاس.

فى بعض المبانى القديمة، تنتج تعقيدات إضافية فى العلاقة بين أطوال موجات الراديو المنعكسة من أبعاد الحجر المستخدم فى انشاء البناء. عند إستخدام هوائى 500 ميجاهرتز عبر كتل الأحجار فإن السرعة ≈ 0.1 متر/نث وتكون طول الموجه 0.2 متر والتى تقارن بأبعاد الكتل. تبعا لذلك، فإن طور الفاصل العاكس ينتج من إنعكاسات داخلية من واجهات الكتل المفرده، تجعل التسجيل الرادارى الكلى أكثر تشويشا منه خلافا لما يكون، بالمثل يحدث تشويشا من مواد البناء المستخدمة لملئ فراغات حوائط الأحجار من مواد واسعة الإختلاف، فى مدى من دبش حجرى والذى يضغط لكى يترك الهواء الفجوات.

5.6.8 إستقصاءات الآثار Archaeological Investigation:

تستخدم تطبيقات الرادار بكثرة للتنقيب عن الآثار التى لايراد البحث عنها بالحفر، خاصة على أعماق اختراق مطلوبة عادة ما تكون صغيرة (عامة أقل من 3 متر). يمكن إستخدام الرادار كتقنية النظرة الأولى. شكل (8-27) من أمثلة الإستخدامات الناجحة للرادرا فى تطوير ظواهر أثرية الرادار المستخدم ذا هوائى 300 ميجاهرتز (مدى وضع = 40 نث) بنظام GSSI SIR-3 عبر أرض منبسطة من طمى رسوبى، حصى عند موقع (سيرسوس، بوويز، ويلز Casersws, Powys, Wals). يرى تسجيل الرادار بوضوح الإنعكاسات الناتجة من سطح طريق رومانى بخنادق على الجانبين. تظهر لفافات وصلات الطريق كمنطقة مركزية خفيفة الضغط.

تحديد أماكن التجويفات مهم إذا أريد إستخدام الموقع لرسم أرضى ويتطلب ذلك تدريبات بعناية جيدة. أيضا، ترجع أهميتها إذا كان هناك شك كبير فى تواجد معلومات أثرية هامة مصاحبة لبقايا مدفونة، وهذا يودى لتحديد مواقع الفجوات بدون هدم. مثل هذا المسح للفجوات تم بإستخدام رادار الإختراق الأرضى بين تقنيات أخرى لبعض الباحثين. يرى شكل (8-28) تسجيلات رادارية حصل عليها فى إتجاهين متعامدين عبر تجويف محتمل. بالإضافة لنتائج الرادار استخدمت طريقتى الكهرومغناطيسية الأرضية والمغناطيسية للتعزيز. وكما يرى فى شكل (8-28ج، د) وضحت طرق التعزيز شاذات جيوفيزيائية التى تقفل كنتوراتها المركزة حول مواقع التجويفات. يجب التأكد من أن الإضطرابات الأرضية المصاحبة للتجويفات يشار إليها على التسجيلات الرادارية وليس من الأجسام نفسها.

عند التفكير فى تحديد بقايا إنسانية خاصة فى مواقع محمية (أضرحة قديمة)، يمكن الكشف عنها بنجاح بالرادار.

6.6.8 تخريط فتحات الرادار العريضة وعملية الإزاحة

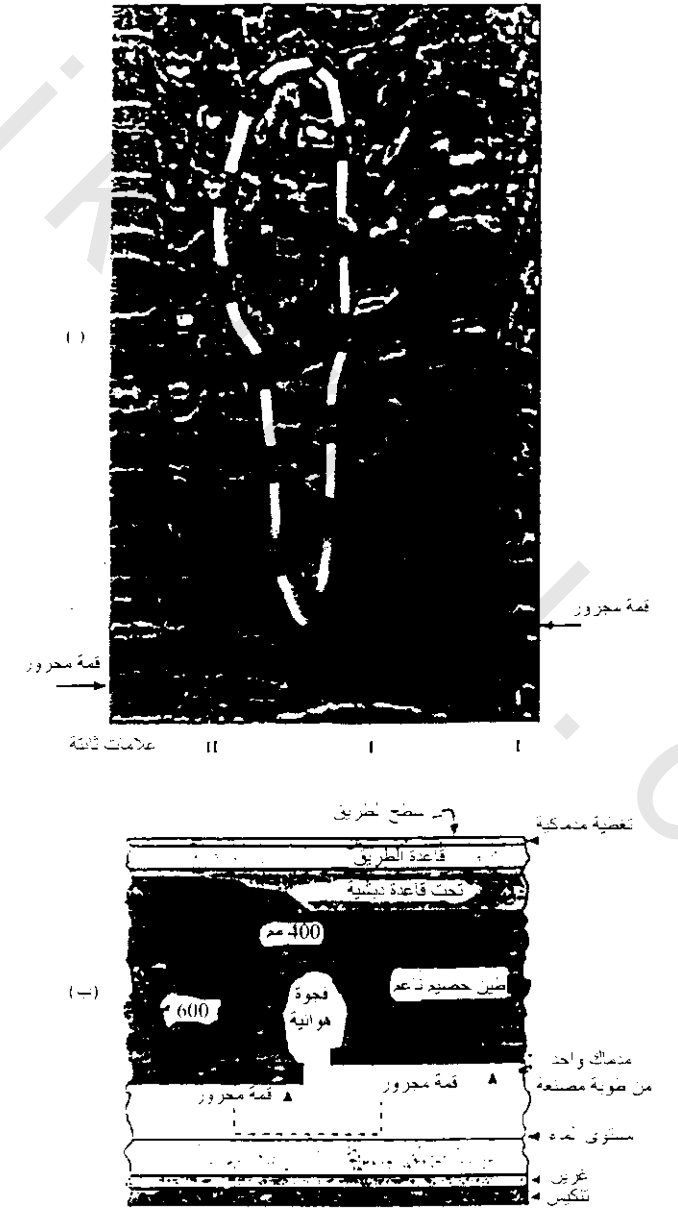
Wide-Aperture Radar Mapping and Migration Processing:

عادة، تنفذ مسوحات الرادار باستخدام هوائى أو اثنين فى نسق بروفيلى كنظام مكتسب لقناه مفرده. نفذ بعض المؤلفين مسح اختراق رادارى أرضى لأربعين قناة فى بيئة نهرية/ريحية فى وادى نهر أوتاوا Ottawa تقريبا شمال وشمال شرق تورونتو، كندا Toronto-Canada. وضع هوائى الإستقبال عند كل من 441 نقطة مسح على مسافات 1 متر على طول خط البروفيل. لكل من مواقع الإستقبال هذه، تسجل البيانات مع هوائى باعث عند كل 40 مكان فصل على طول الخط، بمسافات 0.5 متر بين 0.5 متر، 20 متر من المستقبل شكل (8-29).

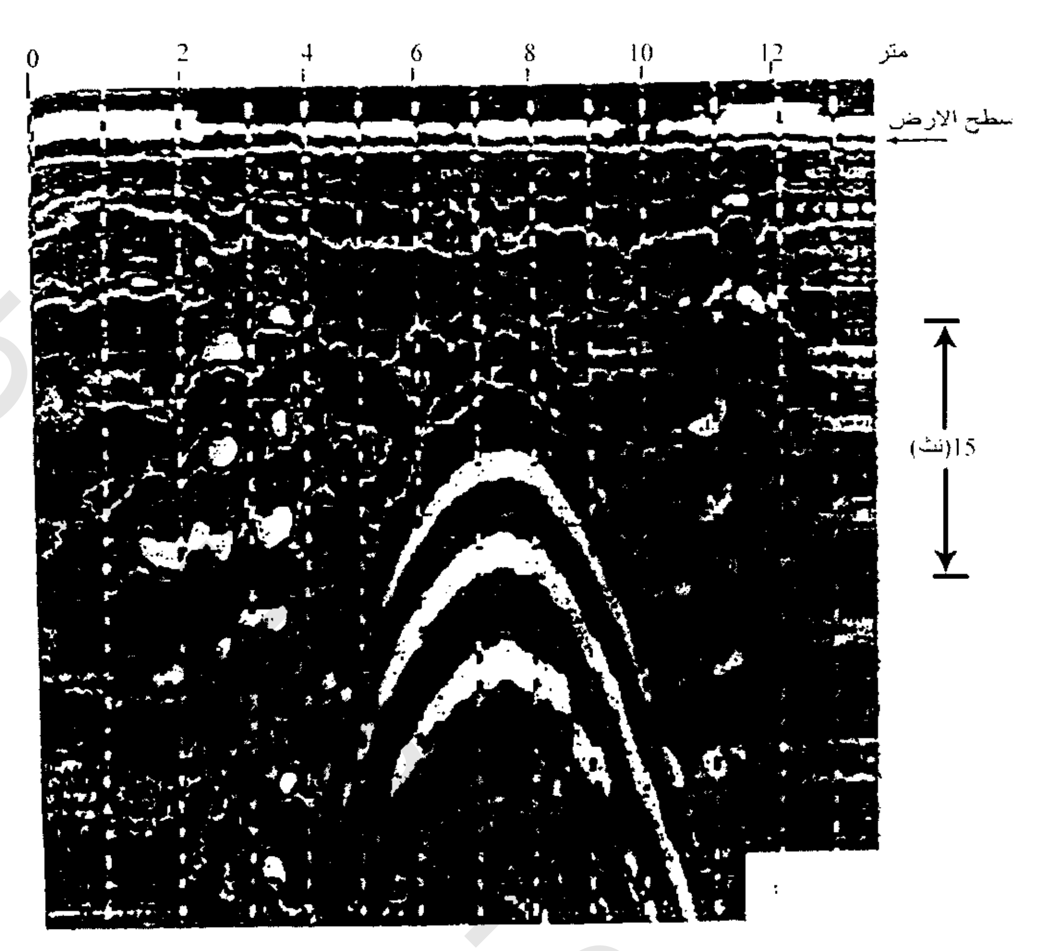
وجهت الهوائيات موازية كل للآخر مع المستوى E الثنائى المتعامد على خط المسح. بدلا من التشبيه السيزمى العادى مع تسجيل المصدر المفرد لتجمعات المستقبلات (تجمعات مصدر عام (Common-Source Gathers، فانه حصل على تجمعات مستقبل عام. جمعت الآثار (تتبعات لمقادير قليلة) المخزونة للمصدر العام،

المستقبل العام، الإزاحة العامة أو منتصف النقطة العام بدون الإلتفات للطريقة التى بواسطتها حرزت فى الحقل. بواسطة الحصول على البيانات لهذه الطريقة لابد من الأخذ فى الإعتبار العملية السيزمية التقليدية على تجمعات منتصف النقط العامة (CMP).

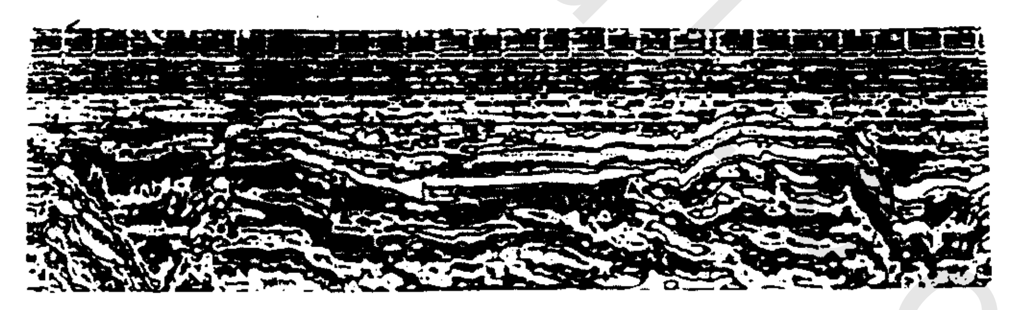
إستخدم نظام رادارى Pulse EKKO (حساسات وسوفت وير.Inc) مع هوائى 100 ميجاهرتز، لإنتاج طاقة يمكن إستخدمها خلال إتساع النطاق الترددى 50-150 ميجاهرتز لكل تسجيل، يكرس 64 مصدر حث مولد نبضات 400 فولت لتحسين الإشارة-إلى-نسبة الشوشرة سجل جملة 1280 عينة مع مسافات عينة زمنية لـ 800 نبضة لجميع زمن تسجيل 1024 نت. يأخذ سرعة موجات راديو نموذجية فى التربة 0.065 متر/نث، فإن مدى هذا الزمن يمد العمق الممكن للإختراق لأعلى من 33 متر.



شكل (8-25): أ) تسجيل رادارى خلال مواد طينية رحصيم ناعم للرصف فوق مجرور مهدوم، تظهر الفجوة على القطاع بخطوط غير متصلة، ب) القطاع الحقيقى

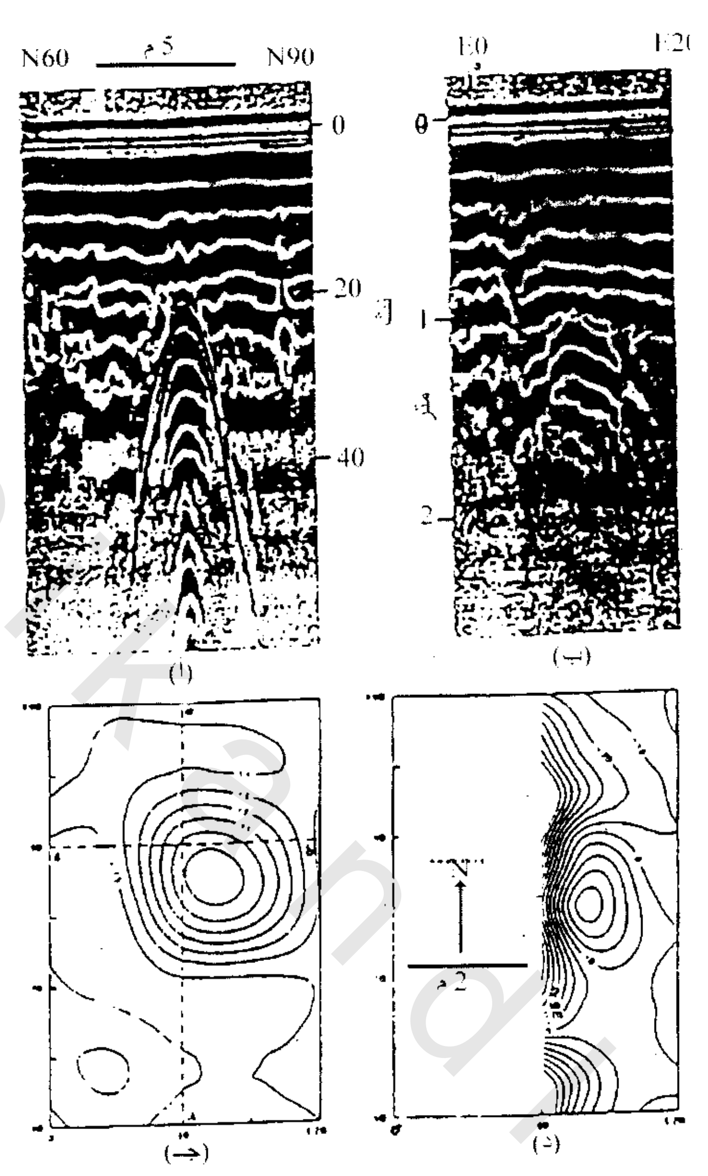


شكل (8-26): تسجيل رادارى عبر قبو مدفون بكنيسة شارلين هوس Charnel House. حدد قمة القبو بوضوح عند قمة الشاذة شديدة البياض والسائدة فى القطاع



شكل (8-27): مثال لتسجيل رادارى عبر طريق رومانى مدفون لحصن (موقع سيرسوس، بوويز، ويلز Caersws, Powys, Wals)

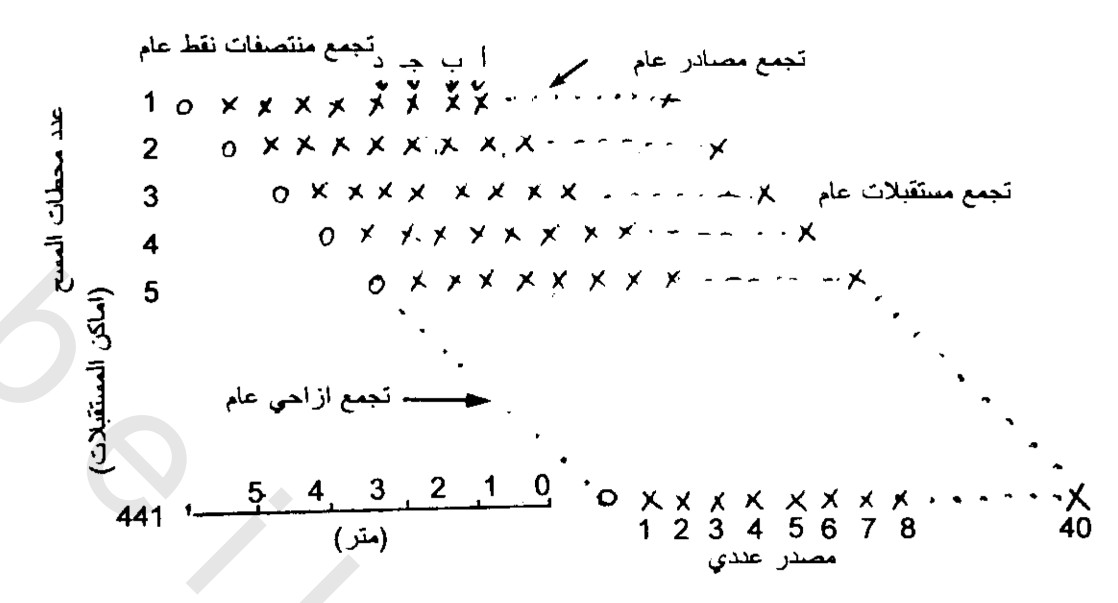
تدخل بيانات الرادار إلى عملية تتابعية سيزمية عيارية (ترشيح، تصحيحات إستاتيكية، تجميع منتصف النقطة العامة، تحليلات سرعة، تصحيحات حركة الخروج العادية والمائلة، تراكم وإزاحة العمق). وقد قام بعض المؤلفين بعمل تفسيرات أكثر للبيانات وطرق إزاحة. بينما المستقبل العمودى وتجمعات منتصف النقطة العامة لبيانات الرادار تظهر إحتمال كبير جدا لتشابهما السيزمى، فإن متوسط الجذر التربيعى يقدر من ثلاث مراتب تمثيل له متوسط النقطة العامة لتجمعات متوسط النقطة العامة (CMP) كما فى شكل (8-30). بينما تشير السرعة السيزمية الزيادة مع العمق، فإن هذه الهيئات السرعية ترى أن العكس يكون حقيقى لموجات الرادار.



شكل (8-28): بروفيل رادارى شمال-جنوب عبر قبر محتمل، ب) بروفيل شرق-غرب. يرى أن الهدف عريض فى هذا الإتجاه، جـ) خريطة توصيلية ظاهرية بمسافة كنتورية 1 مث/م، يدل الخطوط المشرطة على إتجاه لبروفيلى الرادار، د) يوجد أيضا حديد مدفون أو قوالب محروقة بمسافة كنتورية لشواذ خريطة مغناطيسية 10 ننتسلا (بيفان Bevan 1991)

شكلى (8-31)، (8-32) يوضحان أن نتائج عمليات البيانات فيرى شكل (8-31أ) قطاع مزاح قريب، عند كل موقع تسجل الأثر الموقع باصغر مسافة (0.5 متر) بين المصدر والمستقبل، أما فى شكل (8-31ب) فإن كل أربع أثار فى تراكم قطاع زمنى، عند كل موقع فإن الأثر المنقط هو التكدس عبر الآثار عند منتصف النقطة.

يلاحظ أن اللوحتين فى شكل (8-31) يشاهدين كقطاعين زمنين. بمقارنة هؤلاء باللوحة العلوية فى شكل (8-32) والتى تكون صورة إزاحة عمق، فإن التفسير المقابل يمد فى اللوحة السفلى. من الواضح أن التفصيل المعين حصل عليه لعمق يتجاوز 25 متر، كما قورن مع البئر المجاور. تكون بيانات الإزاحة النهائية مشهد (منظر) تام وترى كشبه تحليل رأسى حتى مع هوائى 100 ميجاهرتز لأعماق فى زيادة لـ 20 متر.



شكل (8-29): مسح هندسى وتجمعات بيانية مستبانة. تحتوى تجمعات المستقبلات العامة كل الآثار (تتبعات المقادير قليلة) عند مكان مستقبل واحد. تحتوى تجمعات المصادر العامة جميع الآثار المتولدة عند مكان مصدر واحد. تحتوى تجمعات الإزاحة العامة جميع أثار البعد بين المصدر-المستقبل. تحتوى تجمعات منتصفات النقط العامة جميع الآثار مع نفس مركز النقطة بين المصدر والمستقبل. للشكل الهندسى المستخدم، يوجد أربع منتصفات أماكن عامة (أ، ب، جـ ، د). لكل مكان إستقبال. يوجد 40 أثر فى كل تجمع مستقبلات عام. ماعدا نهاية المسح يوجد 10 آثار فى كل تجمع منتصفات فقط عام (فيشر وآخرين Fisher et al 1990)

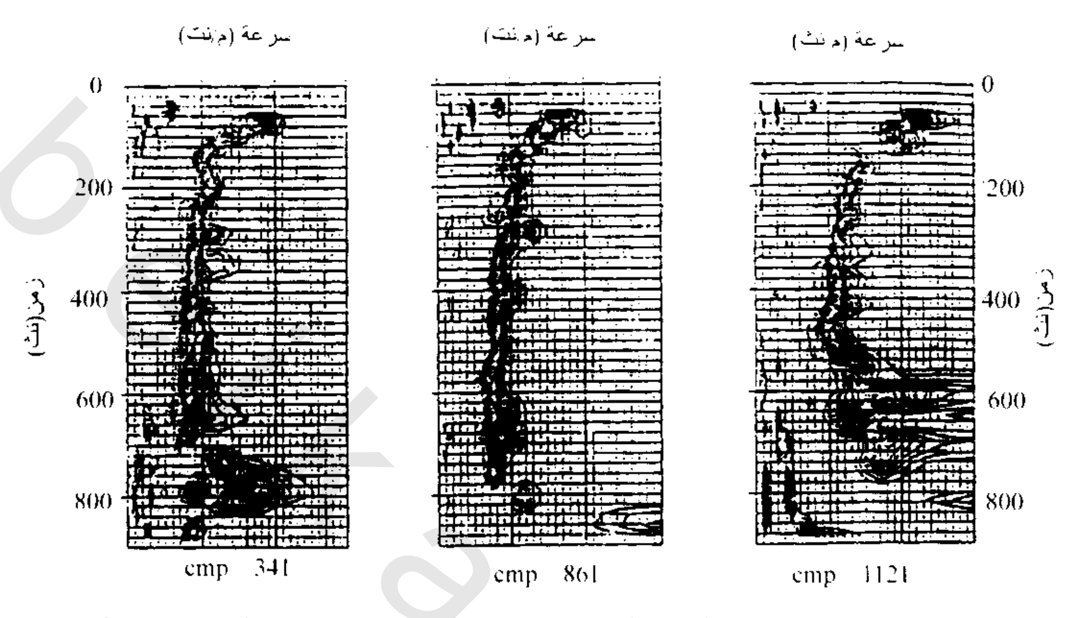
7.8 رادار الآبار Borehole Radar:

إستخدم هذا النظام منذ عام 1980 حيث ظهر نظام يسمى RAMA كجزء من مشروع ستربا العالمى International Stripa Project فى السويد Sweden وفى الصناعة بواسطة فالاجيوسينس Mala Geoscience لكى تطور تقنيات ملائمة للإستخدام فى مخازن تحت الأرض لنفايات الوقود النووى. يستخدم فى رادار الآبار نبضات قصيرة أولا للحصول على معلومات عن تركيب وكمال كتل الصخور النارية (البلورية) على مسافة من الأنفاق والآبار بدون التأثير على الصخور بأى طريقة.

أشار مسح RAMAC فى عام 1987 فى سويسرا Switzerland إلى تشققات فى الجرانيت على بعد 160 متر من البئر الممسوح. ومنذ هذه اللحظة، يستخدم RAMAC لتسجيل إنعكاسات ناتجة من تركيبات على بعد أكثر من 300 متر خلال صخور ملحية. الآن، يستخدم هذا النظام عالميا فى التنجيم المعدنى والإستقصاء الهيدروجيولوجى وميكانيكية الصخور، وأيضا لإستقصاء مواقع الأنفاق السدود، ومشاريع لأنواع من الإنشاءات.

يوضح شكل (8-33) أساس النظام خطيا مع تسجيل رادارى بسيط. يستخدم الباعث لتوليد موجات رادار مع نبضات تردد 43 كيلوهرتز. يوضح مستقبل منفصل لمسافة قصيرة نوعا ما أسفل البئر. نموذجيا، يعمل المستقبل بعرض نطاق ترددى 10-200 ميجاهرتز عندما يكون المسح لصخور رسوبية من 2-6 متر ومن 5-15 متر لمسح الصخور البلورية. ويمكن إستخدام هوائيات بترددات مختلفة أما 20 ميجاهرتز أو 60 ميجاهرتز لآستخدام نظام RAMC النموذجى أو 50، 100، 200 ميجاهرتز أو 400 ميجاهرتز لرؤية حديثة تحققت فى عام 1994،

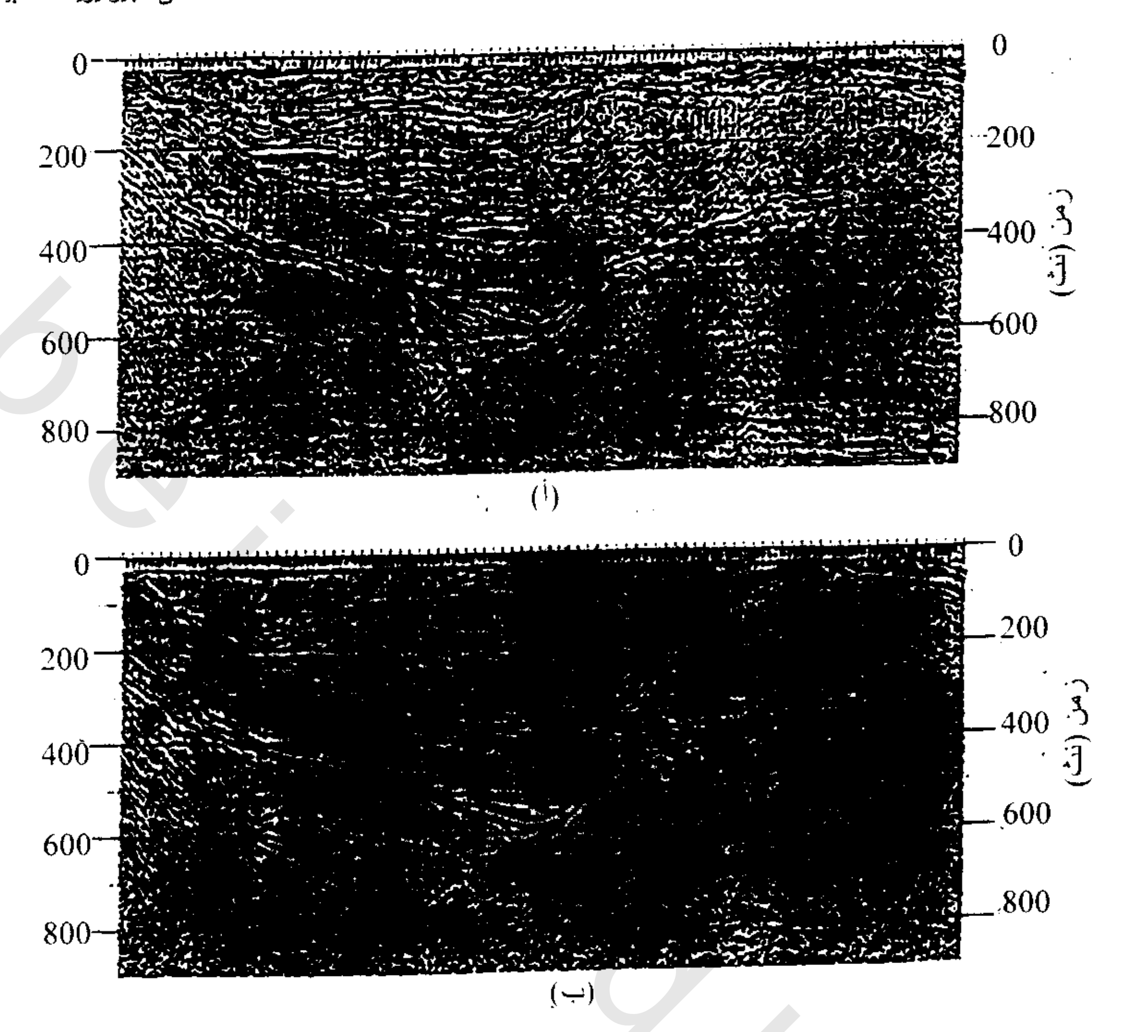
حيث تم عمل قياسات على مسافات ثابتة من 0.5-1 متر وذلك بأخذ أغلبها حول 30 ثانية عند كل موقع لعمل القياسات المطلوبة.



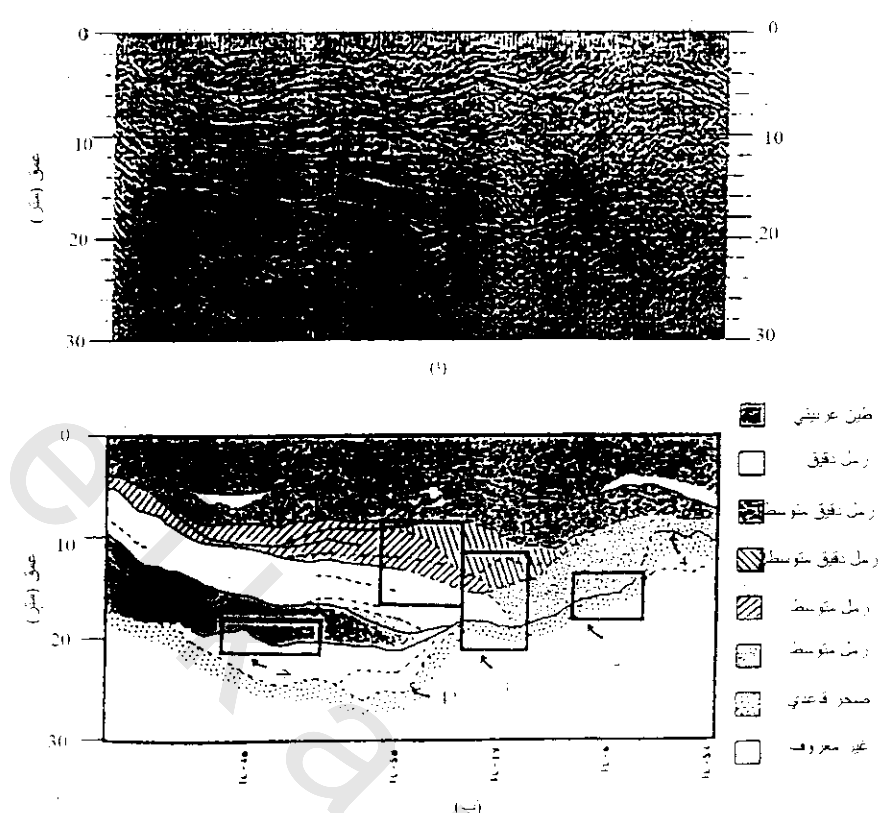
شكل (8-30): تقديرات لسرعات تتابعية سيزمية عيارية من ثلاث تجمدات لمتوسطات نقط عامة (CMP). عامة ، تقل السرعة بزيادة العمق (أى زيادة فترة الزمن). تكون تقديرات السرعة غير ملائمة عند أزمنة أكبر من التى يحدث عندها الإنعكاس الأخير المتلاحم المتسق (فيشر وآخرين Fisher et al 1990)

يمكن عمل نمطين فى إحداهما إستخدم كل إتجاهات ثنائية الهوائيات واستخدم فى الآخر هوائى متجه، لذلك أمكن تعريف الإنعكاسات من ربع دوائر (90°) منفصلة حول البئر. أيضا يمكن إستخدام نظام RAMAC فى أشكال قطاع مسح سطحى للبئر بدون الدخول فى العمق مع هوائى باعث فى أحد الآبار والمستقبل أسفل الآخر. بالإضافة لذلك يمكن وضع المستقبل أسفل البئر بينما يوضع الباعث إما فى نفق منجم أو على سطح الأرض، كما هو موضح فى شكل (8-34). يمكن أن تجمع تسجيلات الرادار عمليا باستخدام شاشة تفسيرات لسوفت وير.

المثال البسيط لأنواع تسجيلات الرادار الناتجة باستخدام نظام RA.MAC ترى فى شكل (8-35) تسجيل الرادار الحاصل عليه من واحد من ثلاثة آبار مختلفة لتوقعي عمود (ماسورة) الحفر المتروك. لوحظ إنعكاسات قوية من ماسورة الحفر على تسجيلات الرادار لسبب التصاق مواسير الحفر بجوانب الآبار (قطعت منطقة فالق كبير مائل).

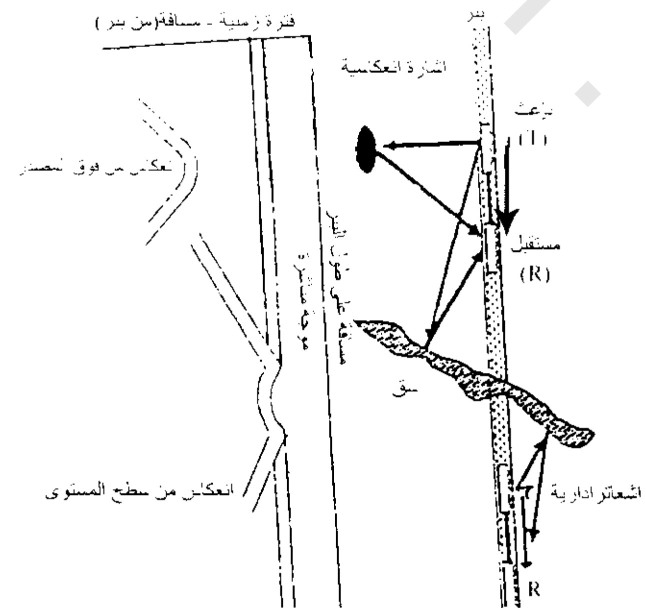


شكل (8-31): قطاع رادارى من مسح رادارى (40 قناة) فى وادى نهر أوتاوا، كندا Ottawa, Canada. (أ) بالقرب من قطاع مزاح، عند كل موقع يكون تسجيل رسم الأثر مع بعد أصغر من (0.5 متر) بين المستقبل والمصدر. (ب) يمثل مع كل رابع أثر قطاع لتراكم زمني، عند كل موقع لرسم الأثر يكون التكريس عبر الآثار التى عند نقطة المنتصف. كلا من أ، ب ترسما بـ AGC بنافذة 200 نت. (فيشر وآخرين Fisher et al 1992a)

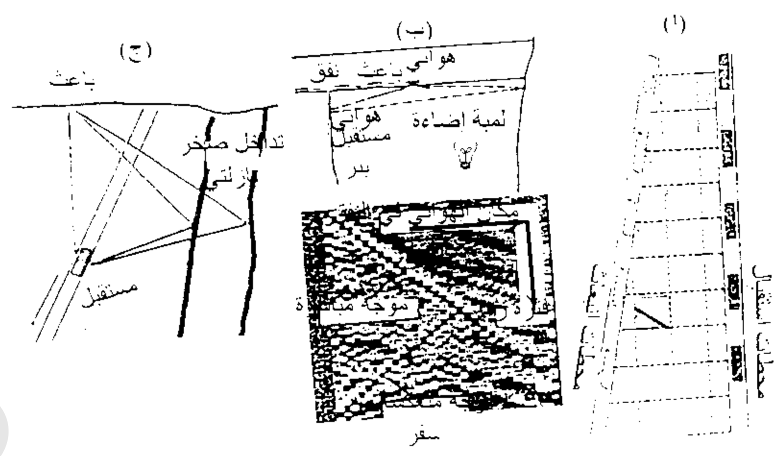


شكل (8-32): أ) صورة عمق مرحل، ب) تفسيره. رسمت الصورة فقط بـ AGC لكل أربع أثار. العينات اللوبية الملائمة للمواقع القريبة معنونة عند قاع (ب). العواكس: 1 = رمل جارنت، 2= طبقات غرينية، 3 = حصى رمل دقيق، 4 = صخر القاع (الأساس) (فيشر وأخرين Fisher et al 1992a)

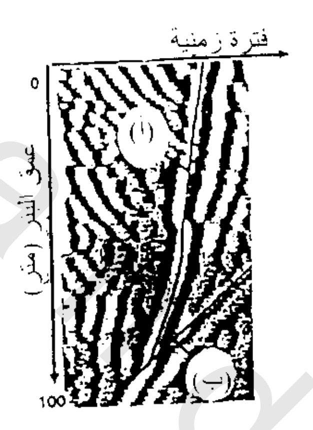
يرى شكل (8-36) تأثر السمت فى شكل (8-36أ) حيث وجه الهوائى إتجاه مغناطيسى 250° ويوضح السهم مستوى الإنعكاس. عندما ادير السمت مغناطيسيا ±90° إلى 160° كان الإنعكاس أقل ما يمكن (شكل 8-36ب). بإستخدام مثل هذه المعلومات، يمكن تحديد ظواهر الميل والمضرب.



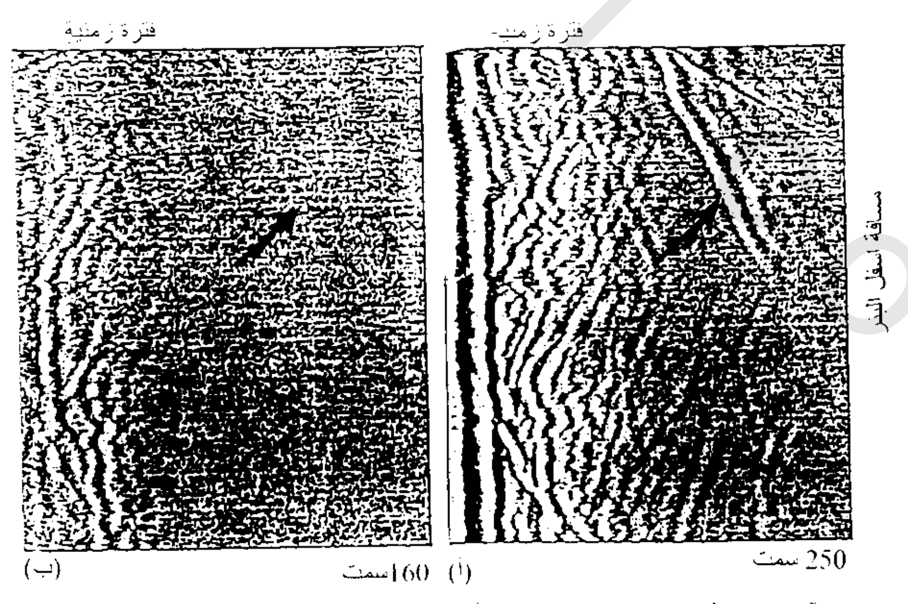
شكل (8-33): ترتيب أساس لنظام رادارى بئرى مع صور نموذجية لقطاع رادارى لسطح مستوى ونقط إنعكاس. يسبب التماثل الإسطوانى لثنائى القطب الهوائى ردود شكل V من السطح العاكس. نتج القطع المخروطى من نقطة المصدر



شكل (8-34): ثلاث اشكال لأنظمة إدارية بئرية (أ) مقطع بئر قليل العمق، (ب) تصور نفق إلى بئر، (ج) بروفيل رادرا رأسى حيث الباعث على سطح الأرض والمستقبل أسفل البئر



شكل (8-35): تسجيل رادارى بئرى يرى موقع خط بئر مهجور، أ) منطقة فالق كبير، ب) مكان التصاق لقمة الحفر



شكل (8-36): تسجيلات آبار رادارية من نفس المكان ترى تأثير السمت بإستخدام هوائى موجه. أ) سمت مغناطيسى 250° مع إنعكاس سطحى كبير قوى (السهم)، ب) سمت مغناطيسى 160° يرى أن قوة الإنعكاس السطحى تقل إلى أقل قيمة

الفصل التاسع

الطرق الإشعاعية

Radiometric Methods

1.9 مقدمة Introduction:

لكثير من دراسات إشعاعات اصخور والمعادن أهمية كبيرة فى الجيولوجيا والجيوفيزياء. أولا، يكون من المحتمل أن الحرارة الناتجة بواسطة التحطيم الإشعاعى هى أهم عامل فى رسوخ الحرارة فى داخل الأرض. ثانيا، تؤرخ الأحداث الجيولوجية بواسطة دراسة معدل التحلل الإشعاعى لطبيعة معينة تحدث فى بعض عناصر الصخور، خاصة فى أزمنة تكوين صخور القشرة الأرضية. بالإضافة لذلك. يمكن إستخدام المسح الإشعاعى بتميز فى البحث عن أجسام الخامات المشعة لأن أغلب الصخور تحتوى على آثار لعناصر مشعة فى تناسبات مختلفة.

2.9 أساسيات التفتت أو التحلل الإشعاعى

Fundamental of Radioactive Disintegration or Decay:

تعنى ظاهرة الإشعاع تفتت نواة الذرة بواسطة إنبعاث طاقة وكتل جزئية. يكون تفتت النواة $^{A}X_{z}$ هو تحولها إلى نواة لعنصر آخر مع التغير فى الوزن الذرى A والعدد الذرى Z، وتكون نواتج التفتت هى جزيئات α (نواة الهليوم $^{4}He_{2}$). جزيئات β (الكترونات) وأشعة جاما (γ) فى تجمعات مختلفة.

يكون التحلل أو التفتت الإشعاعى عملية عشوائية ويعبر عنها بمصطلحات الإحتمالية لأن الجزئ المحتوى فى النواة يهرب خلال عائق جهدى مقيد للنواة. لاتتأثر إحتمالية التحلل بالحالات الطبيعية مثل الضغط والحرارة وتعتمد على عدد الذرات الموجودة. لذلك يتبع معدل التحلل لعدد نويات N لنوع خاص يكون متناسب مباشرة مع N حيث

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (9\text{-}1)$$

$$N = N_o e^{-\lambda t} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث N_o العدد الموجود عند زمن $t = o$، λ ثابت التحلل غير متساوى النسبة لكل تحلل نواة.

غالبا يقتبس معدل التحلل فى مصطلحات لها علاقة بالكمية، ونصف الزمن. وهذا الزمن هو المأخوذ لإقلال عدد الذرات الأم (النتوج*) بواسطة النصف

$$T = \ln(2/\lambda) = 0.69325/\lambda \qquad (9\text{-}3)$$

بفرض أن تحلل الأم (النتوج) ينتج وليد (daughter) مولد بالإشعاع (radiogenic) وأن عدد ذرات الوليد تساوى صفر عند o=t. وتعطى عدد ذرات الوليد الناتجة بواسطة تحلل نتوج N عند أى زمن t بواسطة

$$D = N_o \text{ ñ } N \qquad (9\text{-}4)$$

بالتعويض عن N_o من المعادلة (9-2)

$$\therefore\ D = N_e^{\lambda t} \text{ ñ } N = N(e^{\lambda t}\text{-}1) \qquad (9\text{-}5)$$

يرى جدول (9-1) التحلل الميكانيكى والتجارب لتحديد لثوابت (λ) للعناصر المشعة الهامة فى الأرض.

جدول (9-1) نهج تحلل لأهم العناصر المشعة فى الأرض

العنصر	نظير النتوج	نسبة مئوية العنصر الطبيعي	تحلل ميكانيكى	الوليد المستقر	ثابت التحلل سنة-1	نصف العمر (سنة)
يورانيوم	^{238}U	99.274	($^{6}\beta$+8α)	206 Pb	^{10}10x1.55125	^{9}10x4.68
			تحلل تسلسلى إنشطار خطى	مختلف		
	^{235}U	0.720	تحلل تسلسلى (β4+α7)	^{207}Pb	$^{10-}$10x0.9185	^{8}10x7.038
			نيترون – إنشطار حثى	مختلف		
ثيوريوم	^{232}Tb	100	تحلل تسلسلى (β4+α6)	^{208}Pb	$^{11-}$10x4.9475	^{10}10x1.401
ريوبديوم	^{87}Rb	27.85	إشعاع β	^{87}Sr	$^{11-}$10x1.420	^{10}10x4.880
بوتاسيوم	^{40}K	0.1167	أسر الكترونى -K 11%	^{40}Ar	$^{10-}$10x0.581 (λK)	^{9}10x1.25
			أشعاع β 89%	^{40}Ca	$^{10-}$10x4.962 (λB)	
كربون	^{14}C	$^{10-}$10x1.6 CO_2				
		ضغط جوى CO_2	إشعاع β	^{14}N	$^{4-}$10x1.209	^{3}10x3.73

إذا عرفت λ، فإن قياس نسبة كبيرة من نظائر النقوح والنهاية أو الناتج الوليد يسمح لتحديد t من المعادلة (9-5). وهذه قاعدة طرق تأرخ القياس الإشعاعى.

عندما تتفتت نظائر النتوج، غالبا فإن الوليد الأصلى أيضا ينتج إشعاع، وتتحلل، ربما خلال سلسلة من إشعاعات نووية حتى يصل لإنتاج نهاية مستقرة. يمكن القول عن حالة الإتزان أنها توجد بين عناصر النتوج ونواتج الوليد عندما تتكون ذرات كثيرة من عضو فى السلسلة. عندما يكون التفتت لكل ثانية، تكون هذه الحقيقة

* ما ينتج مادة أخرى بالإنحلال الإشعاعى.

هامة خاصة عند البحث عن اليورانيوم. لايمكن الإعتماد على أى تقدير لمحتوى اليورانيوم من رصد شدة الإشعاع أو توثيقه إذا لم تكن درجة الإتزان الإشعاعى فى الراسب مؤكدة.

تكون إشعاعات α، β، γ المصاحبة للتفتت اللحظى لمواد المحدثة لإشعاعه طبيعى مباشرة هامة فى البحث عن أجسام الخامات المشعة. حيث أن التنقيب الإشعاعى موضوع على إكتشاف فيزيائى لهذا الإشعاع. ولأن جزيئات α، β تقف مبكرا، حتى بواسطة أرفع غطاء للغطاء الرسوبى، لذلك غالبا يمكن تحديد الرسوبيات المشعة من خلال إكتشاف إشعاع بها.

الرونتجن (roentgen R) وحدة الإشعاع وهى الوحدة العيارية لقياس إشعاع γ وهى كمية الإشعاع التى سوف تنتج 2.083×10^{15} زوج من الأيونات لكل متر مكعب من الهواء عند درجة الحرارة والضغط العاديين ميكرورونتجن ($1\mu R = 10^{-6}\times R$).

3.9 إشعاعية الصخور Radioactivity of Rocks:

يمثل توزيع وشدة إشعاع الصخور أهمية كبيرة للجيوفيزيائيين، خاصة فى اختيار مادة صخرية لتأرخ الجيولوجيا المطلقة وفى حساب الحرارة الناتجة خلال الأرض. أيضا هامة لجيوفيزيقى الإستكشاف فى البحث عن رسوبيات المعادن المشعة.

تدل قياسات الخواص الإشعاعية المواد طبيعية موجودة على أن المستوى المنخفض للنشاط موجود فى أغلب جميع الصخور والمعادن. يشترك بداية هذا النشاط غالبا كلية لآثار اليورانيوم والثيريوم ونواتج التحلل المشع. أيضا أوضحت آخر الإستكشافات أن نظائر البوتاسيوم (^{40}K) مشعة. برغم أن هذه النظائر تكون حوالى 0.012% من البوتاسيوم فى القشرة الأرضية، فإنها تشارك جيدا لمعرفة الصخور المشعة لأن وجود البوتاسيوم نفسه واسع الإنتشار فى صخور القشرة الأرضية.

يعطى جدول (9-2) فكرة عن معدل احتواء أنواع الصخور العامة (الشائعة) على اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم. يلاحظ أن الجرانيت والطفلة يريان أكبر إشعاع. أيضا يوجد إختلاف واضح فى الإشعاع بين صخور البازلت والجرانيت.

جدول (9-2). نماذج وفرة أهم العناصر المشعة فى أنواع صخور مختلفة

نوع الصخر	يورانيوم (ppm)	ثيريوم (ppm)	بوتاسيوم (%)	نوع الصخر	يورانيوم (ppm)	ثيريوم (ppm)	بوتاسيوم (%)
جرانيت	5	18	3.8	رمل شاطئ	3	6	0.3
حجر رملى	0.5	2	0.6	بازلت	0.6	3	0.8
طفلة	4	12	2.7	ديونايت	0.005	0.02	0.01
حجر جيرى	1.3	1	0.3	اكلوجيت	0.04	0.15	0.1

(موكسهام Moxham 1963، ساس Sass 1971).

4.9 الحرارة المسببة من الإشعاع Heating Due to Radioactivity:

ذكر سابقا أن العناصر تشع جزيئات α، β السريعة وأشعة γ، وجميعها تمتص بواسطة الوسط المحيط منتجة حرارة. النظائر المشعة التى تشارك بأهمية لإنتاج الحرارة الحاضرة خلال الأرض هى ^{238}U، ^{235}U هذه العناصر لها نصف عمر زمنى مقابل لعمر الأرض ولذلك مازالت كافية بكثرة لأن تكون أهم مصدر للحرارة. فى حالة سلسلة اليورانيوم والثيريوم. فإن 90% من الطاقة تمد بواسطة جزيئات α أما المشاركة الأصغر فتكون بجزيئات β وإشعاعات γ. فى حالة تحلل ^{40}K، فإن الطاقة تكون من كلا جزيئات β وانبعاث أشعة γ المصاحبة لعملية أسر الكترون K. يرى جدول 3 قيم الحرارة الناتجة بواسطة طول عمر النظائر.

جدول (9-3). معدلات الناتج الحرارى بواسطة عناصر مشعة (برش Brich 1954)

العنصر أوالنظير	الوفرة % (الكثرة)	الحرارة الناتجة (كالورى جم/سنة)		العنصر أوالنظير	الوفرة % (الكثرة)	الحرارة الناتجة (كالورى جم/سنة)	
		(كالورى جم/سنة)	(وات كجم)			(كالورى جم/سنة)	(وات كجم)
^{238}U	99.27	0.71	94	^{232}Th	100	0.20	26.6
^{235}U	0.27	4.30	527	^{40}K	0.012	0.32	29
U	طبيعى	0.73	97				

من هذا الجدول يتضح أن النتاج الحرارى لليورانيوم والبوتاسيوم يكون على أساس معرفة نسبة كثرة النظائر لهذه العناصر. يعتمد النتاج الحرارى من نوع الصخر المعطى (مثل الجرانيت والبازلت) على تركيز العناصر المشعة فى الصخر (جدول 9-2). من بيانات جداول (9-2)، (9-3) يمكن تقدير النتاج الحرارى الحاضر فى الصخور.

5.9 طرق تأرخ الإشعاع Radiometric Dating Methods:

يعتمد أغلب تحديد عمر الإشعاع على الناتج، عند معدل معروف، من النظائر الوليدة من نتوجها المشع منذ أن كان المعدن متبلور. يكون تحديد ثوابت التحلل (λ) تجريبيا ملائمة لنويات تستخدم لتأرخ الإشعاع (جدول -1 9. يستخدم الإسبكتروسكوبى الكتلى لتحديد نسبة النتوج، N، والنواة الوليدة، D، فى عينات المعدن أو الصخر ويمكن تحديد العمر من العلاقة الأتية

$$t = \frac{1}{\lambda}\ln\left(1+\frac{D}{11}\right) \qquad (9\text{-}6)$$

حيث t = عمر الإشعاع بالسنين لأى حدث مسجل فى العينة.

أنواع الأحداث الجيولوجية والتى تؤرخ بواسطة هذه الطرق وهى:

(i) تبلور الصخور النارية من الصهير.
(ii) إعادة تبلور لصخور موجودة سابقا.
(iii) إرتفاعات، تبريد، تجويه سلسلة الجبال.
(iv) ترسيبات الصخور الرسوبية التى تمد معادن جديدة متكونة خلال أو بعد الترسيب مباشرة.

بناء على تحديد الأعمار يكون من المهم توضيح أن النتائج الجيدة تعتمد أولا وقبل أى شئ على تحليلات كيميائية ونظائرية يركن إليها، لعينات معدنية غير متغيرة (متجويه)، ولكن تكون هذه بعيدة جدا هن قاعدة المعيار. إذا أريد أن يكون التحديد نافع فيجب أن يكون مكان العينة معروفا بالضبط، وكذلك التفاصيل الدقيقة عن أصل الصخر وعلاقته الجيولوجية بما حوله. من الأفضل اختيار العينات بتعاون مع جيولوجى، والذى يضيف تفسير ملائم مع النتائج التى تم الوصول إليها.

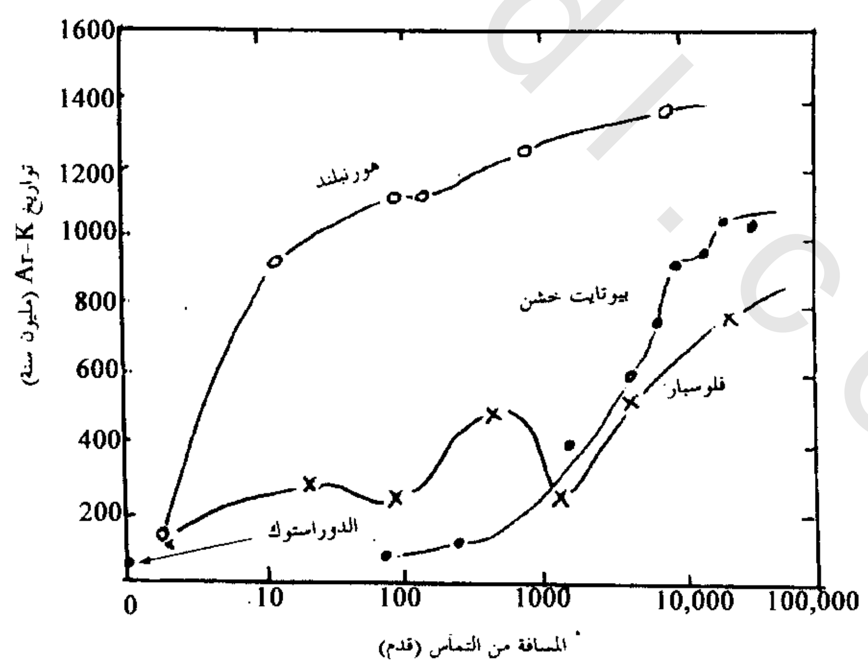
1.5.9 طريقة بوتاسيوم-أرجون Potassium-Argon Method:

البوتاسيوم عنصر شائع وواسع الإنتشار فى صخور القشرة الأرضية. يتحلل نظير البوتاسيوم ^{40}K (0.0117% من البوتايوم الطبيعى) فى طريقتين (جدول 9-1)، تستخدم عملية تحلل ^{40}Ar-^{40}K للتأريخ فقط تعطى نسبة لحدث الإنحلال للوليد Ar بالمعادلة الآتية:

$$^{40}Ar = (\lambda K/\lambda)\ ^{40}K(e^{\lambda t}-1) \qquad (9\text{-}7)$$

حيث $\lambda_B + \lambda_K = \lambda$ (جدول 9-1).

لاستخدام المعادلة السابقة لتأريخ بوتسايوم – معادن المحامل (سبائك المحامل) فإنه يقاس تركيزالبوتاسيوم وكمية محدث الإنحلال ^{40}Ar التى تتجمع وذلك بواسطة الإسبكترومترى. عادة، تعمل التحليلات الكيميائية للبوتاسيوم الكلى، أما النسبة المئوية لـ ^{40}K فإنها تحسب من نسبة النظير. وحيث أن الأرجون غير شائع لتكون المعادن، لذلك فإن الأخطاء بسبب وجود الأرجون الأصلى ^{40}Ar تكون عادة (ولكن ليس دائما) صغيرة. ربما يكون من الضرورى تصحيح شوائب أرجون الغلاف الهوائى، وتعمل بواسطة نسبة الغلاف الهوائى الموجود $\frac{^{40}Ar}{^{36}Ar} = 295.5$.



شكل (9-1): تغير تواريخ Ar-K لمعادن من تكوينات ينابيع إداهو-كندا فى منطقة تماس تحول ناتج بواسطة تداخل للألدور ستوك Eldor stock) فى الثلاثى المتقدم (55 بليون سنة) تكوين ينابيع إواهو تحولت ما بين 1350-1400 مليون سنة (هارت 1964 Hart)

يشير الأرجون الناتج بواسطة التحلل من ^{40}K إلى إنتشاره من الصخور المضيفة. ويكون معدل الإنتشار ملائما فى أغلب المعادن فوق درجة 300° مئوية. يأتى مثل هذا التسخين من تداخل تماس قريب، أو كنتيجة الدفن فى القشرة الأرضية. يمثل شكل (9-1) توضيح جيد لتغير Ar-K بسبب تغير كمية الأرجون المفقودة من صخور البريكامبريان، المضيفة والتى تأثرت بواسطة تداخل حدث لزمن الثلاثى الأولى. تصل تواريخ Ar-K للهورمنلند لأكبر قيمة 1200 مليون سنة عند حوالى 30 متر من التماس وركزت بتقدم مؤخر. بالمقارنة بهذا فإن تواريخ البيوتيت والفلدسبار ترى تأثير فقد الأرجون حتى عند مسافات أكبر من 4000 متر.

عامة وجود معادن المايكا والهورينلند بالصخور النارية والمتحولة يكون ملائما لتأرخ Ar-K، أيضا تكون درجات الحرارة العالية للبوتاسيوم – فلدسبار (مثال، سانيدين) والفلدسبارات البلاجوكليزية ملائمة لهذا التأرخ. فى المقابل يكون أغلب بوتاسيوم – فلدسبارات، مثل أورثوكلير وميكروكلين ملائمة لأنها تستطيع فقد أرجون مبكرا حتى عند درجات حرارة الأتموسفير. جميع تحليلات الصخور مثل البازلت، تقدم تواريخ ملائمة حفظ إذا لم تحلل وتكون خالية من النسيج الزجاجى. حدث التأرخ يكون زمن البرودة النهائية أسفل تقريبا 200° مئوية. أحيانا تحتوى الصخور البحرية، الحجر الجيرى، والحجر الرملى على البوتاسيوم – معدن الجلوكونيت المحامل، والذى يتكون عند زمن الترسيب ويمكن تأرخه بواسطة طريقة Ar-K.

أهم مميزات طريقة Ar-K كثرة البوتاسيوم ونسبيا قصر نصف عمر زمن ^{40}K. ويمكن استخدام الطريقة بتوسع لتأرخ صخور مختلفة. أغلب جميع الأزمنة الجيولوجية تتراوح من أقدم الصخور الأرضية (3700 مليون سنة) إلى أغلب الصخور الحديثة والتى تكون أحيانا أحدث من 30,000 سنة. تأرخ Ar-K للصخور الحديثة لها ميزة كبيرة. خاصة فى تأسيس علم الأزمنة للانعكاسات الحديثة للمجال المغناطيسى الأرضى، حيث لاتوجد طريقة أخرى ملائمة لمثل هذه الخصور الحديثة. فى الحقيقة، توجد فجوة فى ملائمة الأزمنة المطلقة بين زمن تأرخ الصخور الحديثة بواسطة طريقة Ar-K وزمن أقدم المواد العضوية التى أرخت بواسطة طريقة الكربون ^{14}C.

فى المناطق المعقدة التاريخ، أشارت طريقة Ar-K أن هناك شك أو ظن بأن التحويلات الهامة تالية للتبلور الأصلى. ولأن الأرجون ربما يفقد بواسطة الإنتشار حتى عند درجات الحرارة الأقل جدا من نقطة الإنصهار، فإن تأرخ Ar-K يمثل الزمن المنقضى منذ التبريد إلى درجات الحرارة التى عندها يكون فقد الأرجون لايعتد به.

يمكن أن تتغلب طريقة $\frac{^{40}Ar}{^{39}Ar}$ على بعض تحديدات طريقة Ar-K العادية، وتعرف هذه الطريقة بطريقة أرجون-أرجون، وتكون على أساس إنتاج ^{39}Ar من ^{40}K بواسطة تشعيع عينات بوتاسيوم مدفونه بنيتورنات فى مفاعل نووى. الميزة الأساسية للطريقة أن القياسات تكون فقط لنسب النظائر للأرجون المطلوب، ولذلك يبعد الإحتياج لقياس التركيزات المطلقة للبوتاسيوم. ولهذا تكون الطريقة مناسبة لتأرخ عينات صغيرة جدا أو قيمة مثل النيازك أو عينات صخرية هلالية. كان تأرخ زجاج برتقالى مشهور من القمر (17 عينة من أبولو Apollo) مثال لتطبيق هذه الطريقة، وقد وجد هيوساس وشيفر Husais and Shoeffer 1973 أن عمر هذه العينات 0.06±3.71 بليون سنة.

2.5.9 طريقة ريوبديوم – سترنشيوم Rubidium-Strontium Method:

برغم أن الريوبديوم واسع الإنتشار بين المعادن مثل الميكات والفلدسبرات وكثرته فى الطبيعة لاتقارن بالبوتاسيوم فإن النظير ^{87}Rb المشع يحتوى على 27.85% من تواجد الروبديوم الطبيعى. يمثل التخطيط التحللى (جدول 9-1) أبسط تكون واحد من انبعاث ضعيف لجزئ β ليكون ^{87}Sr. تعطى المعادلة الآتية العلاقة بين المولد والوليد الناتج من معدن غنى فى Rb لزمن t سنه

$$^{87}Sr = (^{87}Sr) + {}^{87}Rb\,(e^{\lambda t}-1) \qquad (9\text{-}8)$$

حيث (^{87}Sr) المحتوى الأساسى الذى أدمج فى المعدن عند زمن تكوينه.

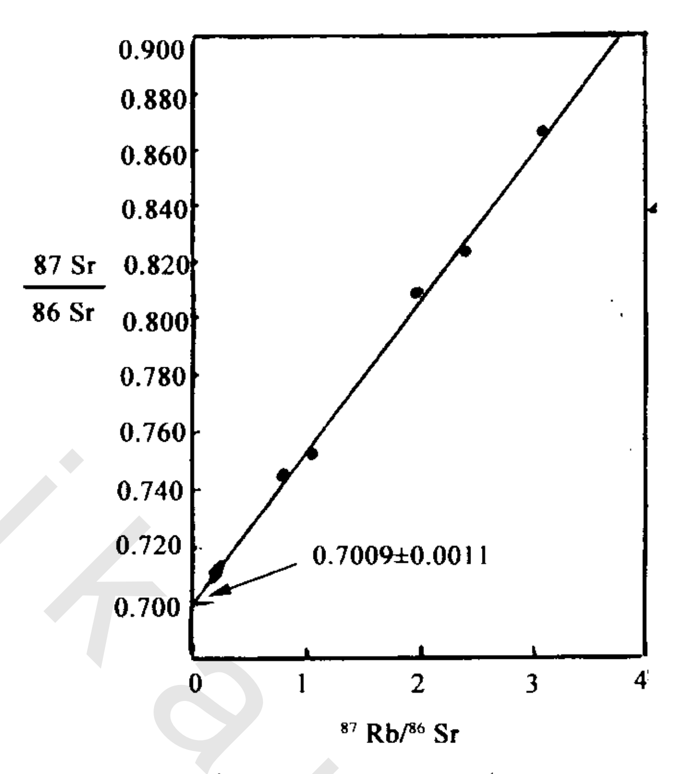
لتحديد t يقاس كثرة ^{87}Sr، ^{87}Rb ومعرفة λ. ولايزال وجود عدم توافق على القيمة المطلوبة لنصف العمر الزمنى ^{87}Rb لوجود صعوبات فى تحديده بواسطة قياسات الأشعاع المباشر. القيمتين المستخدمتين بواسطة التقويم الجيولوجى هما 47,000، 50,000 مليون سنة. حدد تركيز البروبيديوم بواسطة تحليل المعدن، وحسب محتوى ^{87}Rb من نسبة الكثرة المعروفة، المقتبسة سابقا لتحديد محتوى ناتج الوليد، ^{87}Sr، عزل الاسترنشيوم كيميانيا فى العينة وحلل بواسطة السبكترومترى الكتلى. بما أن الاسترنشيوم الشائع يحتوى على ثلاثة نظائر اخرى (^{84}Sr، ^{86}Sr، ^{88}Sr). لذلك يوجد دائما تعقيد لعمل تصحيح للمساهمة إلى ^{87}Sr الاسترنشيوم الشائع.

غالبا ماتستخدم جميع الصخور لتحديدات عمر Rb – Sr لأنها تكون أكثر احتمالا لتحقيق متطلب النظام المغلق. لتصحيح المسبب بواسطة الاسترنشيوم الشائع. تعدل المعادلة (9-8) بواسطة قسمة كل حد بواسطة المحتوى المستقر لـ ^{86}Sr والذى يكون ثابت لأن هذا النظير غير مولد بالإشعاع، وتصبح المعادلة كالآتى:

$$\left(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}\right) = \left(\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}\right) + \left(\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr}\right)(e^{\lambda t}-1) \qquad (9\text{-}9)$$

وتكون نتيجة رسم العلاقة بين النسبة المرصودة $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$ مقابل $\frac{^{87}Rb}{^{86}Sr}$ لمجموعات من العينات خط مستقيم. يسمى هذا الخط متساوى الزمن isochron ويعطى ميله $(e^{\lambda t}-1)$ وفيها يمكن حساب t، وكذلك يعطى الجزء المقطوع من الخط مباشرة النسبة الأصلية لـ $\frac{^{87}Sr}{^{86}Sr}$، للاسترنشيوم الشائع فى الصخور.

يمكن إستخدام طريقة Sr-Rb لتأريخ مثل هذه الصخور الشائعة المكونه من معادن كالميكا، وجميع أنواع البوتاسيوم والفسبرات، وهذه الطريقة ملائمة لجميع تحليلات الصخور خاصة الجرانيتات والجرانيتات النيسبه. ويرى شكل (9-2) تساوى الزمن لنيس أمتسوك Amitsoq من منطقة جود ثاب Godthaab بغرب جرين لاند Greenland. ينتج ميل تساوى الزمن عمر 3740±100 مليون سنة والتى توضح أن هذه الصخور واحدة من أقدم صخور القشرة الأرضية المعروفة، وقد فسرها موريات وآخرين Morbath et al 1972 على أنها تأريخ حدث التحول التى أنتجت نيس أمتسوك Amitsoq.



شكل (9-2): كل ثوابت المدة الصخرية لنيس أمتسوك Amitsoq من منقطة جودثاب Godthaab من جنوب غرب جرين لاند Greenland. تكون هذه بين صخور أرضية قديمة معروفة (موربات وآخرين Moorbath et al 1972)

أكبر ميزة لطريقة Sr-Rb أنها تمثل نظام صلب-صلب، ولذلك نسبيا توجد أقل فرصة لفقدان المنتوج والوليد المنتج. ومن عدم ميزات هذه الطريقة أن عنصر Rb غير متكاثر فى القشرة الأرضية، وطول نصف عمره الزمنى يجعله صعب التطبيق للصخور الحديثه، أيضا وجود Sr الغير مولد بالإشعاع فى معظم المعادن يتطلب تصحيح. ربما تكون هذه الطريقة نسبيا أكثر ملائمة لتأرخ مناطق دروع صخور البركابريان.

3.5.9 طريقة اليورانيوم-الرصاص وتأرخ الأرض: Uranium-Lead Method and the Age of the Earth

يوجد اليورانيوم والثوريوم (تواتريا) معا فى نفس المعادن وتحلل نظائرهم (U^{238}، U^{235}، ^{232}Th) (جدول 9-1) ليكونوا الرصاص (Pb^{206}، ^{207}Pb، ^{208}Pb). يسمى تكوين هذا الرصاص برصاص مولد بالإشعاع، ويكون قاعدة طرق اليورانيوم لتحديد الزمن. علاوة على الثلاث نظائر المولدين بالإشعاع فإن للرصاص نظير آخر ^{204}Pb غير مولد بالإشعاع. فى أى يورانيوم يكون ملائما التدقق على ملائمة الأزمنة المستنتجة الممكنة كالنظائر المختلفة بثوابت تحلل مختلفة. وهذه ليست حالة فى طرق Sr-Rb، Ar-K.

أغلب المعادن شيوعا لإستخدام Pb-Th-U للتأرخ هو معدن الزركوندا $ZrSiO_4$ حيث يوجد كمعدن ثانوى فى أغلب الصخور ويحتوى على جزء صغير من ذرات اليورانيوم بديلا للزركونيوم. يصاد الرصاص الناتج من

تحلل اليورانيوم فى بلورة ويحفظ أثناء أحداث التحول. وصف تحول اليورانيوم والثيريوم فى نظام مغلق بواسطة المعادلة المشهورة الشكل كالآتى:

$$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb} = \left(\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}\right)_i + \frac{^{238}U}{^{204}Pb}\left(e^{\lambda t} - 1\right) \qquad (9\text{-}10)$$

يشير المصطلح المقرون بـ i إلى النسبة الأساسية الموجودة فى النظام عند زمن تكوينه منذ t سنوات. يمكن كتابة نفس المعادلة لنظام يشمل ^{235}U، ^{232}Th.

يمكن تحديد الأزمنة من بسب $\frac{^{206}Pb}{^{238}U}$ ، $\frac{^{207}Pb}{^{235}U}$ ، $\frac{^{208}Pb}{^{232}Th}$ ، ويقاس تركيز U، Th عادة بواسطة نظير مخفف ويحدد التركيب النظائرى للرصاص بوساطة السبكترومترى الكتلى. يمكن أن تحل المعادلات الشبيه للمعادلة (9-10) بالنسبة للزمن باستخدام قيم ملائمة مفروضة لأساس نسب نظائر الرصاص الأصلية. الثلاثة تواريخ المحددة متوافقة وتمثل عمر المعدن، كذلك جميع الفروض الممدة الشاملة مرضية.

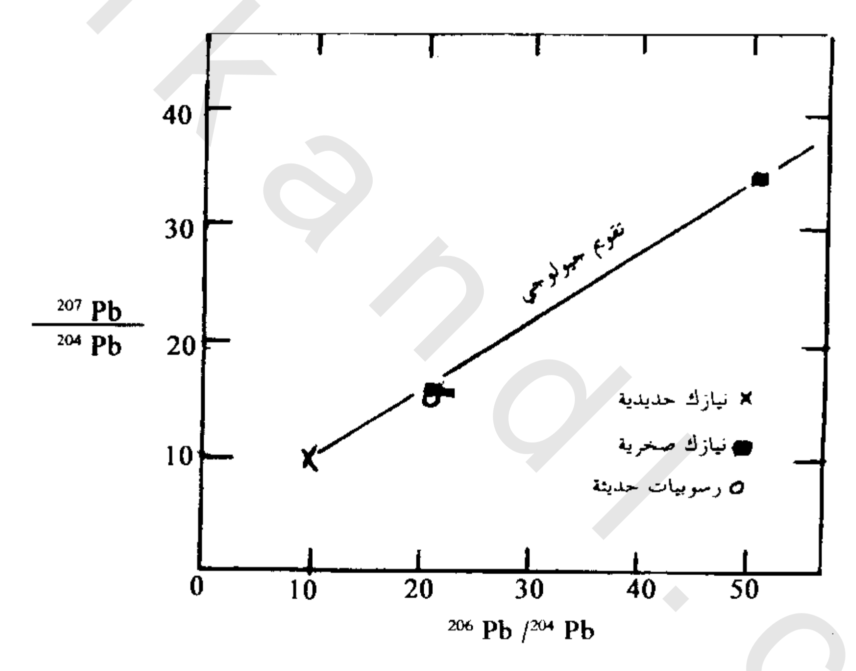
فى كثير من الحالات لاتكون التواريخ المحددة لاتكون متوافقة، وذلك لاحتمال أن معظم المعادن ليست أنظمة مغلقة، وربما تفقد أو تكتسب Pb، U، Th بعد التبلور. تتم الطرق المختلفة لتقليل تأثيرات اليورانيوم وفقد الرصاص ولتفسير أنظمة U-Pb الغير متوافقة بواسطة رسومات بيانية توافقية (فورى Faure 1977).

لاستنتاج عمر الأرض يمكن تتبع تاريخ عينة الرصاص من نسب نظائر الرصاص نفسه $\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$ ، $\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$ ، $\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$. حيث أن الطريقة نوعا ما معقدة لذلك يعطى هنا ملخص موجز.

فى بداية الأرض، كان الرصاص الموجود طبيعيا له كميات معينة من ^{204}Pb، ^{206}Pb، ^{207}Pb، ^{208}Pb. وبمرور الزمن الجيولوجى فإن كمية الرصاص ^{204}Pb (مولد غير إشعاعى) يجب بقاءه غير متحول بينما الثلاثة الأخرى يجب أن تزداد بسبب تفتت اليورانيوم والثوريوم. تشير المقارنة الحقيقية للمكونات النظائرية لمعدن الرصاص (مثل الجالينا) لأزمنة مختلفة إلى أن ^{206}Pb، ^{207}Pb، ^{208}Pb تزيد فى الحقيقة بكميات مع الزمن. بمجرد تحديد معدل الزيادة كميا فإنه يمكن استكمال الأستقراء لعمر الأرض، حيث تعطى هذه العملية فى الحقيقة نتائج غير مؤكدة لأن الكميات الأصلية لـ ^{206}Pb، ^{207}Pb، ^{208}Pb الموجودة عند زمن مولد الأرض غير معروفة.

للتغلب على هذه الصعوبة، وضع افتراض أن الأرض والكوكب النيزكى سلفها ولدا عند قرب نفس الزمن. وحيث أن نيازك معينة، خاصة طور معدن كبريت الحديد FeS الموجود بكميات صغيرة فى أغلب جميع النيازك لنيازك الحديد، يحتوى على نسبة معينة من الرصاص ونسب مهملة لليورانيوم والثوريوم، لذلك يمكن ملاحظة نسب النظائر للرصاص على أنها غير متغيرة منذ تكون النيازك.

أول إقرار لأعمار النيازك تم بواسطة باتيرسون Patterson 1956 من دراسة مكونات نظير رصاص فى نيزك ترولیت (FeS) فى ثلاث أحجار ونيازكين حديدين. يدل شكل (3-9) على العلاقة بين نسب $\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$ ، $\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$ هى خط مستقيم والذى يتفق مع الفروض بأن النيازك لها تقريبا نفس العمر حيث تحتوى أصلا على رصاص بسيط من نفس تكوين النظير. أيضا أوضح باترسون Patterson باستخدام كثرة نظير الرصاص فى رسوبيات المحيطات (لأنها تحتوى على رصاص أرضى) أنها تلائم تساوى عمر النيزك خلال تجارب الأخطاء. هذا الإستنتاج أمد بأن عمر الرض متساوى نسبيا كعمر النيازك، والذى قدره باترسون Patterson بـ 4550±70 مليون سنه، وأن نسبة الرصاص-النظير ثابتة فى نيزك ترولیت والممكن استخدامه كنسبة الرصاص-النظير فى بداية الأرض. استخدمت تقنيات متقدمة لقيم أكثر حداثة حيث دلت على أن تقدير عمر الأرض تقترب من 4600 مليون سنة. وقد أعطت التحديدات المطلقة لعمر أحجار النيازك وعدة عينات قمرية نفس القيم.



شكل (3-9): دورة زمن الرصاص للنيزكات ورسوبيات محيطية حديثة تحتوى على رصاص أرضى. يدل ميل دورة الزمن على عمر عام حوالى 4550 مليون سنة للنيزكات والرصاص الأرضى (بارسون Patterson 1956)

4.5.9 تأرخ تتبع الإنشطار Fission-Track Dating:

طريقة يورانيوم أخرى للتأرخ على أساس الإنشطار اللحظى لـ U^{238} فى المعادن والزجاجيات، فعندما تنتقل الجزيئات الناتجة من الإنشطار خلال وسط فإنها تترك تسجيل أثر المسارات والتى تكبر بواسطة الحفر. يكون عدد أثر المسارات لكل وحدة مساحة دالة لعمر العينة وتركيز اليورانيوم بها، وإمدادها لايعيد تسخينها مؤخرا منذ تبريدها لأصلى. تستخدم هذه الطريقة الآن بتوسع لتأريخ معادن مختلفة مثل المايكا، أباتيت، أبيدوت – سفين والزيركون. بالإضافة، يمكن استخدامها لتأريخ النترات القمرية، وزجاجيات بركانية وبعض المشاريع الأثرية.

5.5.9 طرق الكربون المشع والترتيوم Radiocarbon and Tritium Methods:

وضع أساس هذه الطرق على إشعاعات النظائر، والتى لها اقصر عمر، ولكن توجد فى الطبيعة لأنها ذات إنتاج مستمر بواسطة العمليات الطبيعية.

من أكبر أهميتها إنتاج الكربون المشع ^{14}C فى أعلى الغلاف الجوى بواسطة تصادمات الأشعة الكونية (cosmic-ray) بـ ^{12}N. ^{14}C مشع بنصف عمر زمنى حوالى 5730 سنة، ويمتزج مبكرا مع الغلاف الجوى العادى وكربون المحيطات (^{12}C، ^{13}C) ويؤخذ بواسطة النباتات والكائنات العضوية الحية الأخرى. بعد موت الكائنات العضوية، يقف تبادل الكربون مع الغلاف الجوى وتنقطع امدادات ^{14}C. بعد ذلك يتحلل ^{14}C عند معادلة المميز، ويحسب عمر الكربون المشع من كثرة نسبة ^{14}C فى عينات الحفريات إلى كثرة ^{14}C فى مواد حيه مشابهة.

$$\frac{^{14}C \quad (\text{مواد حفرية})}{^{14}C \quad (\text{مواد حية})} = e^{-\lambda t} \qquad (9\text{-}11)$$

يجب أن تكون العينات المستخدمة لتأريخ الكربون المشع فرضية بحيث تكون الحالة التى عندها ^{14}C الموجود الآن نفس الكربون الموجود فى المادة عند وقت موتها، وقد وضح ليبى Libby 1955 الافتراضات الشاملة وتقنيات القياسات لهذه الطريقة. ولأن عمر ^{14}C قصيره لذلك لايمكن استخدامه لتأريخ أكثر من 30,000 سنة مضت، وايضا تقيد هذه الطريقة لدراسة الأحداث الجيولوجية الحديثة بتوسع، ولكن تستخدم أساسا لتأريخ مواد نباتية. الجزء الخاص من هذه الطريقة هو تأريخ أصداف المولاسكا Molluska فى شواطئ ماقبل ترسيب الجليد والذى يستخدم لتحديد مدى حركة سطح الأرض الراسية. ايضا نجحت هذه الطريقة لتأريخ ثلج الثلاجات من كتل ثلجية عائمة فى جرين لاند Green Land. وحيث أن ثلج الثلاجات يحتوى على فقاقيع من هواء غلاف جوى محصورة عند زمن تكوين الثلج، لذلك فإن تأريخ ^{14}C لفقاقيع محتوية على ثانى أكسيد الكربون يعطى عمر الثلج.

ينتج أيضا الترنيوم (نظير الهيدروجين المشع (^{3}H)) فى أعالى الغلاف الجوى كنتيجة لنشاط الأشعة الكونية، ونصف عمره الزمنى حوالى 12.5 سنة، فحتى فى هذا الزمن يمتزج الترتيوم بسرعة مع مخزن الهيدروجين النشط للأرض. وتحفظ دورات المياه نشاط الترتيوم بواسطة الإضافة المستمرة والخلط للمطر. فى الماء المعزول، يتحلل محتوى الترثيوم أسيا. تفتح هذه الطريقة إمكانية دراسة دورة الماء عبر القارات والمحيطات وتحديد خواص المياه التحت أرضية بالمقابل لمعدل العمر وإعادة شحنها. تحققت هذه الإمكانية بواسطة ليبى Libby 1951 والذى قام بعمل قياسات واسعة لمحتويات ^{3}H لمياه مختلفة. لسوء الحظ، يكون للترتيوم المنتج من تفجيرات نووية حرارية عدم منفعة فى الدراسات الجيولوجية. فقط فى المناطق التى سبق قذف مستوياتها طبيعيا بـ ^{3}H ومازالت موجودة لليوم هى المياه القديمة العميقة على القارات أو فى أعماق المحيطات والتى لم تتأثر بواسطة نشاط الإنسان العائد إلى هجرة المياه.

6.9 مقياس تأريخ المياه الظاهرية Phanero‹ oic Time Scale:

يلخص هنا إشتراك التأريخ الإشعاعي لتوطيد مقياس التأرخ الجيولوجي مع العصور المطلقة. قبل ورود طرق التأرخ الإشعاعي، قورنت عصور التكوينات الجيولوجية في مناطق مختلفة من العالم باستخدام الحفريات المرشدة المحفوظة في الطبقات الرسوبية. إمتد السجل الحفرى فقط، مع استثناء لمدى محدد جدا للحفريات الدقيقة لغاية زمن الكمبرى الأولى، مغطية بذلك حقب الحياة الظاهرة لحوالى 600 مليون سنة.

عملت أولا محاولات لانتساب هذه العصور لمقياس الزمن الاستراتجرافي من زمن العصور المطلقة الملائمة. لسوء الحظ، أمكن مباشرة تأرخ صخور رسوبية قليلة ومعادن قليلة موجودة فيها بواسطة الطرق الإشعاعية، تم أغلب التحديدات الحسنة للعصور على بلورات حصل عليها من بيجماتيتات موجودة حول حافات لأجسام كبيرة متداخلة. في أغلب الحالات تقطع صخور البيجماتيت أوالنارية تكوينات الرسوبيات القديمة والتى تغطى بعد ذلك بواسطة تكوينات رسوبية حديثة، وهكذا أى عمر يحصل عليه يقع فى مكان ما فى الفجوة بين التكوينين لتتابع رسوبى. فى الأعوام الحديثة، أدت تكرارات فى طرق التأرخ الإشعاعى لتقديرات لبداية ودوام تقسيمات مختلفة للزمن الجيولوجى.

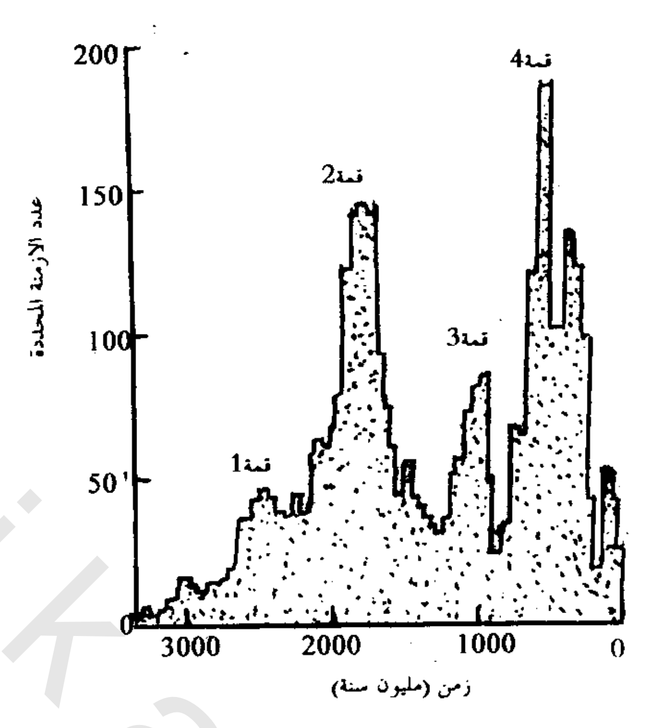
7.9 تحديد أزمنة وتسلسل البريكامبرى Precambrian Chronology:

معروف ان عمر البريكامبرى 400 مليون سنة ويمثل 87% من عمر الأرض الذى نعرفه الآن. بالتأكيد كان تأرخ أحداث صخور البريكامبرى (أقدم من 600 مليون سنة) واحدة من المشاركات الكبيرة لعلم تحديد الأزمنة الإشعاعية.مثل هذه البيانات كونت قاعدة تقسيم مناطق دروع البركامبرى للقارات إلى مناطق كل منها يتميز بواسطة نشاط تكتونى.

من بيانات Ar-K تأرخت صخور البريكامبرى عبر كل الدرع الكندى. من هذه البيانات وجد ستوكويل Stokwell 1972 أربع مجموعات كبيرة للتأرخ والتى عرفها كأعمار أصلية، جرنفليان Grenvillian (1070 مليون سنة) – إلسيونيان Elsonian (1370 مليون سنة)، هودسونيان Hudsonian (1850 مليون سنة)، كينوران Keonran (2700 مليون سنة). على هذه القاعدة قسم الدرع الكندى إلى مناطق تركيبية والتى تتفق بتوسع مع المناطق العصرية.

وضح ديرنلى Dearnely 1966 بأنه إذا عمل مخطط توزيع التواتر (هستوجرام) لجميع الأعمار الممكنة التحديد، فإنه يوجد ثلاث قمم (شكل 9-4) تبعا للنشاط التكتونى بداية من أعمار حوالى 2700 مليون سنة، 1900 م.سنة، 1000 م.سنة.

فى كل قارة، ماعدا انتراكتا كان من الأهمية بمكان تعريف صخور عاشت بعد غيرها زمن كبير من الزمن (2000 مليون سنة) بدون تحول متأخر. قادت هذه المعرفة للتمعن على أن هذه المناطق الصغيرة ذات الصخور الأقدم تكون النواة التى نمت حولها القارات مع الوقت.



شكل (9-4): تواتر (هستوجرامات) مترددة لأزمنة محددة لصخور نارية ومتحولة. حدوث ثلاث قمم للبريكامبرى تبعا للنشاط التكتونى البادى منذ حوالى 2700، 1900، و 1000 مليون سنة (ديرنلى Dearnley 1966)

8.9 نظائر الأوكسجين والمناخات القديمة Oxygen Isotopes and Paleoclimates:

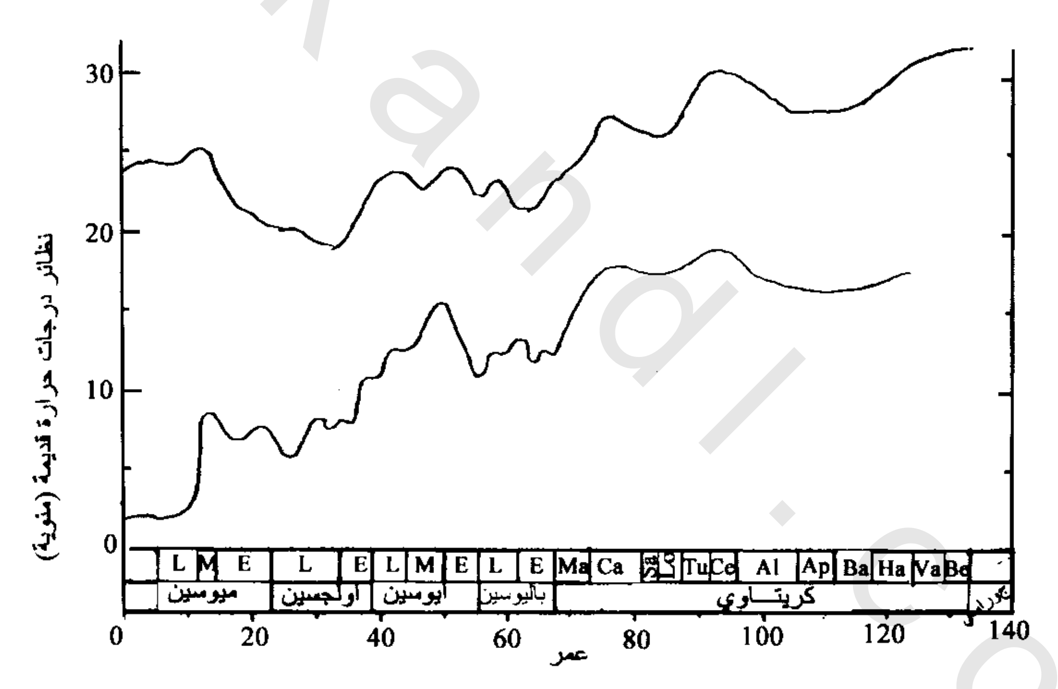
يكون لدراسة علم المناخ القديم جذور عميقة فى الجيولوجيا وفى العشر سنوات الحديثة وجدت مطبوعات مجمعة لبيانات دالة على المناخات القديمة المختلفة. أغلب هذه الأدلة تقدير كمى لظواهر مناخية قديمة هى درجات الحرارة القديمة المشتقة من تحليلات نظائر الأوكسجين فى أهداف الحفريات لعضويات بحرية معينة. تعتمد نسبة $^{18}O/^{16}O$ فى أهداف الفورامينفرا البحرية والقاعية على درجة حرارة التكوين والنظائر المكونة للمياه المحيطية. المعادلة المستخدمة لحساب درجة الحرارة القديمة (T) من مكونات نظير الأوكسجين هى حيث δ مقياس الإنحراف فى كل ميل (%) لنسبة $^{18}O/^{16}O$ من المعيار (النموذج)، A الإنحراف لكل ميل لماء المحيط من نفس المعيار.

$$T = 16.5 - 4.3(\delta - A) + 0.14(\delta - A)^2 \qquad (9\text{-}12)$$

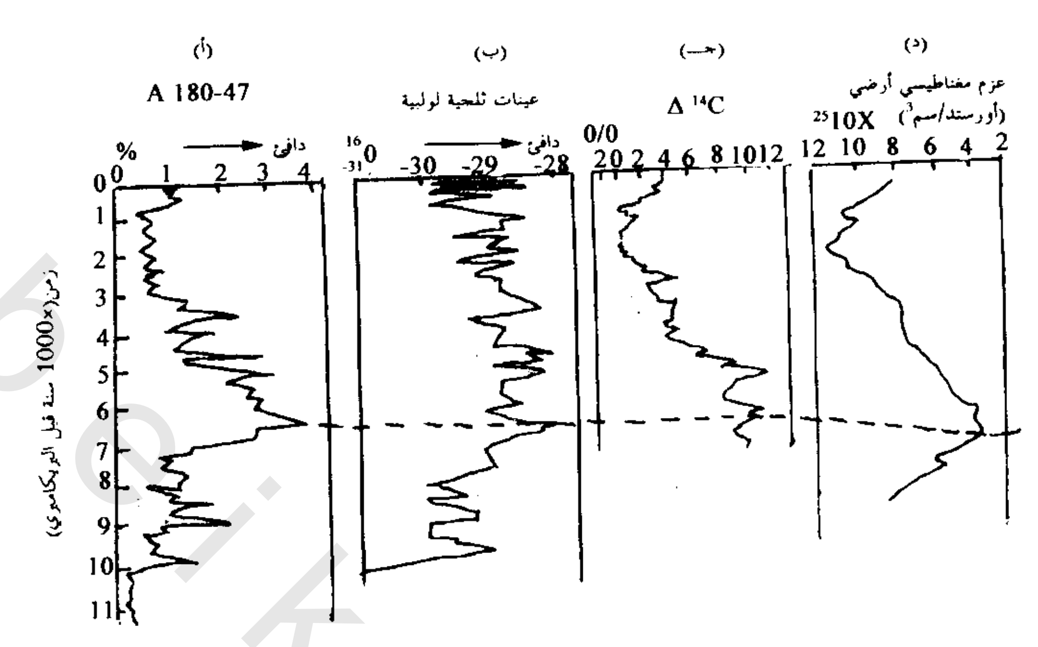
قام ايميلياني Emilaiani 1955 بأول دراسات تفضيلية على عينات بحار عميقة من محيطى الباسفيكى والأطلنطى وبحر الكاريبى، والذى قدر اختلافات درجات الحرارة لعمق المحيط عبر 300,000 سنة مضت. دلت تحاليل اختلافات درجات الحرارة على أن تموجات المناخ المسئولة لفترة البلايستوسين الجليدية كانت ظاهرة عالمية الإتساع. أيضا تمت دراسات نظائر درجات الحرارة القديمة لفرومينفرا الترياسى والكريتاوى وذلك بإمكانية أعداد كبيرة من عينات لوبيه لمشاريع حفر بحرى عميق من قاع المحيطات لمواقع مختلفة. دلت منحنيات درجات الحرارة شكل (9-5) للمحيط الباسيفيكى الإستوائى على بداية التبريد العام لمياه المحيط منذ الكريتاوى الأوسط، مع تموجات شديدة فى درجات حرارة سطح وقاع المياه فى الأيوسين-أولجوسين والميوسين

الأوسط حدثت درجات الحرارة العالية لقاع مياه الترياسي حول 14° خلال زمن الأيوسين، وقورنت هذه مع درجات الحرارة النموذجية لقاع المياه (1°-2°) فى المحيطات الحديثة. كدلالة لإنحراف درجة الحرارة السريع، فإن تغير المناخ العالمى الهام حدث خلال الميوسين المتوسط، وهذا يدل على بداية أكبر مقياس زمنى للفترة الجليدية لقارة انتركتكا Antaractica.

ايضا استخدم تركيز ^{18}O فى ثلج الثلاجات لدراسة تغير درجات الحرارة القديمة (دانسمار وآخرين Dansgaard et al 1973). فى شكل (9-6) قورن منحنى درجات الحرارة النسبى الموضوع على تحليلات ^{18}O لعينات لوبيه لثلج جرين لاند Green land ومنحنى مناخ الفورامينفرا فى عينات لوبيه لرسوبيات بحرية عميقة من قرب جزر كاب فردى Cape Verde مع نشاط كربون الغلاف الجوى المشع وتغير شدة المناطيسية الأرضية. دل أمثل مناخ عند حوالى 6500 قبل البريكامبرى حيث من المحتمل أن تكون الذبذبات المتوترة فى ^{18}O لها علاقة مع التموجات فى الإشعاع الشمسى، والذى يسبب أيضا تبعا لذلك تغيرات فى تركيز ^{14}C للغلاف الجوى. ملحوظة، العلاقة اللافتة للنظر بين المناخ الدافئ وزيادة نشاط الكربون المشع، يقابله نقص شدة المجال المغناطيسى الأرضى حول 6500 قبل البريكامبرى.



شكل (9-5): منحنيات درجات حرارة قديمة موضوعة على أساس تحليلات نظائر الأوكسجين للحفريات الدقيقة من مواقع مشروع حفر بحرى عميق. المنحنى العلوى يمثل أحسن تقدير لدرجات حرارة الماء السطحية مشتقة من فورومينفرا البلانكتون وكوكولثس (أجسام دقيقة من قاع المحيط (سافن Savin 1977). يدل المنحنى السفلى على درجات حرارة قاع الماء موضوع على أساس فورمونيفرابنثك (خاص بالأخياء المائية العميقة) (دوجلاس، وودرف Douglas and Woodruff 1981



شكل (9-6): مقارنة بين منحنى مناخ فورامينفرالى فى أ) عينة بحرية عميقة لوبيه (A180-47)، ب) مناخ منحنى نظير الأوكسجين فى عينة ثلجية لوبيه من جرين لاند Green land، ج) التغير فى نشاط الإشعاع الكربونى الجوى، د) التغيرات فى شدة المغناطيسية الأرضية (ولن وآخرين Wollin et al 1971)

9.9 المسح الإشعاعى Radioactivity Surveying:

أصحبت طرق التنقيب الإشعاعى هامة فى العشر سنوات الحديثة، ليس فقط لنمو الإحتياج لليورانيوم ولكن أيضا لتحديد مواقع المعادن وأجسام الخامات المصاحبة له. غالبا، يمكن أيضا استخدام الطرق بتميز فى الإستقصاء الجيولوجى والتركيبى.

ذكر سابقا أن البحث الجيوفيزيائى للعناصر المشعة فى قشرة الأرض تشمل أولا تحديد مواقع مناطق لشاذات عالية لأشعة γ، هذا لأن إشعاعات α، β أقل كثيرا نسبيا للاختراق، ولاتكتشف بمجرد أن تعطى الرسوبيات الإشعاعية بقليل من السنتيمترات. الآتى شرح أولى ومختصر جدا للموضوع.

1.9.9 الأجهزة وطريقة الحقل Instruments and Field Procedure:

من الأنواع الكثيرة المصممة للاستعمال الحقلى لإكتشاف الإشعاع، كلا من عداد جيجر والومضات التى تكون أكثر ملاءمة لعمل الإستكشاف.

يتكون عداد جيجر من أنبوبة زجاجية عازلة بكاثود اسطوانى حول سلك رفيع مركزى (أنون). الأنبوبة مملوءة بغاز (عادة أرجون مع كمية صغيرة من الكحول) ويطبق جهد عالى بين الأقطاب. عادة يكون الغاز غير موصل، ولكن عندماتمر أشعة بها خلال الغاز بتأين، وتعجل الأيونات والإلكترونات المنتجة فى إتجاه الأقطاب. ويمكن تكبير نبضات التيار الناتج وتسجل على مقياس أو تسمع "تكتكه" فى زوج من السماعات. يعمل الجهاز كمعدل قياس باستخدام دائرة كهربية ملائمة، حيث يقرا معدل النبض فى تعداد لكل دقيقة. فى مقارنة لجزيئات α، β، فإن إشعاعات γ تكون صعيفة التأين جدا. ولذلك فإن كفاءة اكتشاف أشعة γ بعداد جيجر منخفضة جدا.

العداد الوميضى أكثر الأنواع كفاءة للكشف، حيث ينتفع بالحقيقة أن بلورات معينة مثل تاليوم يشع أيوديد الصوديوم النشط الذى يبث بريق ضوئى مرئى (ومضات) عندما يمتص أشعة γ. يمكن إكتشاف الوميض بواسطة أنابيب تعدد الضوء، وبعد تكبير ملائم يمكن قراءة شدة الوميض مقياس العد لكل دقيقة.

لأن كفاءة إكتشاف العداد الوميضى كبيرة جدا (غالبا 100% لاكتشاف اشعاع γ) لذلك يستخدم لحل كثير من الحالات بدلا من عداد جيجر فى الأعمال الحيدثة. فى هذه الأيام غالبا تستخدم عدادات الوميض باتساع فى المسح بالطائرة لقياس سطح الإشعاع من الهواء. صممت أكثر كشافات الوميض حداثة للتفريق بين العدد الوميضى لإشعاعات γ من طاقات مختفة، مثال لهذا، فإن لها القدرة للتمييز بين رسوبيات اليورانيوم والتوريوم.

يعمل المسح الأرضى الإشعاعى بواسطة السير على طول خطوط والكاشف ممسوك على إرتفاع حوالى نصف متر من سطح الأرض. إذا وجد دليل لتواجد إشعاع فى أى منطقة، تعمل قياسات تفصيلية فى نموذج شبكى لمسافات أمتار قليلة مقفلة. إذا سجل الكاشف مدى عد عدة مرات أكبر من "الخلفية" فهذا يدل على رسوبيات إشعاعية. يعود تأثير الخلفية اساسا للإشعاع الكونى والبوتاسيوم والذى يكثر نسبيا فى صخور الجرانيت. ربما يعطى منكشف لسد بيجمتيت بمحتوى عالى للبوتاسيوم-للفلدسبار مدى عد كراسب يورانيوم أقل من ثلث متر تحت الأرض، وباستخدام عداد وميضى يمكن التفريق بينهم. قياسات الإسبكرتومتر تجعل لأشعة γ إمكانية التمييز بين النشاطات الإشعاعية لمناطق مختلفة ولهذا يمكن القول عن اليورانيوم والثوريوم فى مكان المسح.

غالبا ما يصاحب عملية مسح الطيران الإشعاعى مسح طيران مغناطيسى وكهرومغناطيسى للتنقيب المعدنى. يستخدم عدد من حساسات وميضية كبيرة، بتقارن فى ترتيب ملائم، لتعزيز حساسية الكشف لوحدة العد، ويسجل العد أتوماتيكيا على شريط الورق المتحرك. عادة لايزيد إرتفاع الطيران فوق سطح الأرض عن 100 متر، ويفضل أقل إذا كان المطلوب منكشفات حاوية ليورانيوم قليل جدا قام بمبرتون Pemberton 1970 ودارنلى Darnley 1972 بإعطاء مقالات تدريبية عن مسح الطيران الإشعاعى.

10.9 أمثلة للمسوحات الإشعاعية Examples of Radioactivity Surveys:

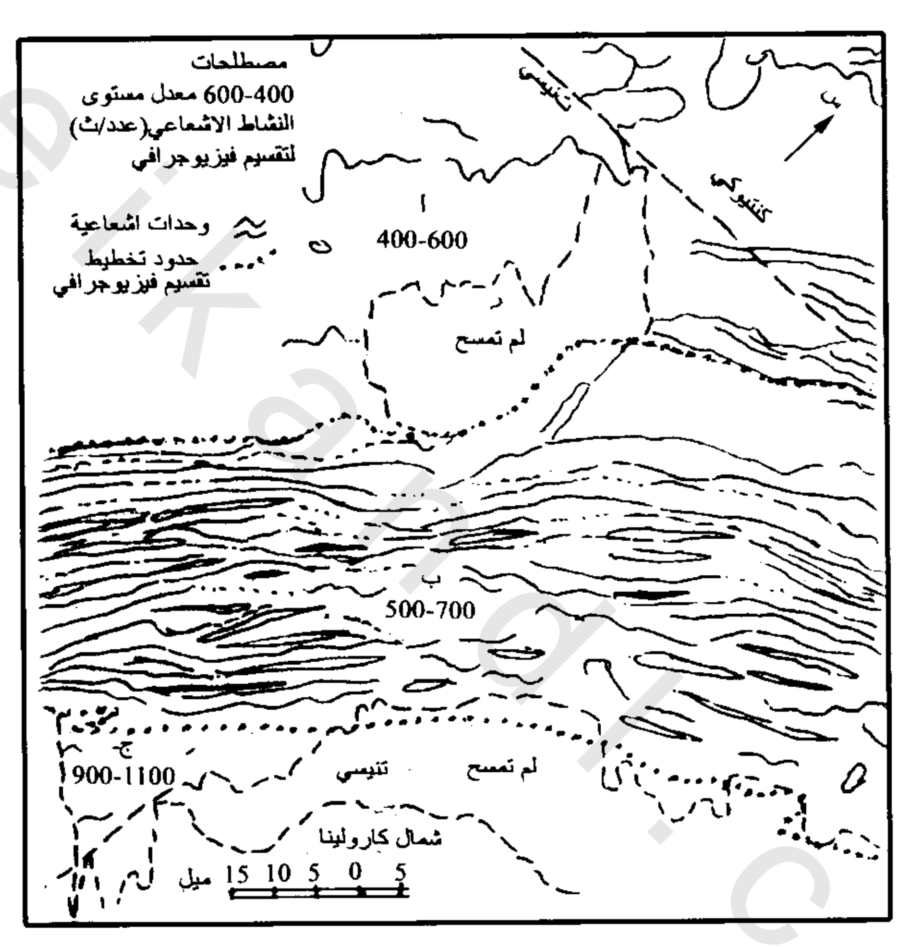
المسوحات الإشعاعية أداة نافعة جدا فى التخريط الجيولوجى والبرامج الأستكشافية. لتوضيح هذه المنافع يعطى مثالين:

المثال الأول:

يوضح شكل (9-7) المأخوذ من مقالة باتس Bates 1966 خريطة إشعاعية لمنطقة ينيس-كينتيوكى Tennessee-Kentucky بالولايات المتحدة .U.S. أهم ظاهرة ملحوظة للخريطة هى مناطق (أ، ب، ج) بنماذج ومستويات مختلفة للأشعة. تتفق هذه المناطق الثلاث تقريبا مع حدود ثلاث تقسيمات فرعية لتضاريس طوبغرافية مدروسة وموصوفة (فيزيوجرافى). المنطقة (ب) لها متوسط مستوى إشعاعى كلى مع نموذج خطى إشعاعى قوى. فى عدة حالات تحيط بدقة أحزمة مستويات إشعاعية خطية عالية أثار فوالق دسر (دفع). حدد بدقة الحد بين منطقتى ب، ج بواسطة إرتفاع حاد فى مستوى الإشعاع لطبقة النتوء الأزرق (بلورد Blue Ridge).

المثال الثانى:

تداخل البميوسا Ilimaussag القلوى فى هضبة كفانيفجلد Kvanefjeld بجنوب جرين لاند Greenland. أشار سورنس وآخرين Srensen et al 1969 لوجود تركيز عالى لليورانيوم والثوريوم فى ليوجافريتس Lujavrites* بأقصى شمال منطقة التداخل، حيث يكون ليوجافرتيس فى تماس مباشر مع سطح الصخور. يصاحب ستينستروبين STeenstrupine** (يورانيوم كثير التغير مع مونازيت وثوريت) أغلب شدة تمعدن اليورانيوم والثوريوم. يرى شكل (9-8) نتائج بأبعاد قياسات لشبكة أبعاد 1 متر بسبكترومتر.

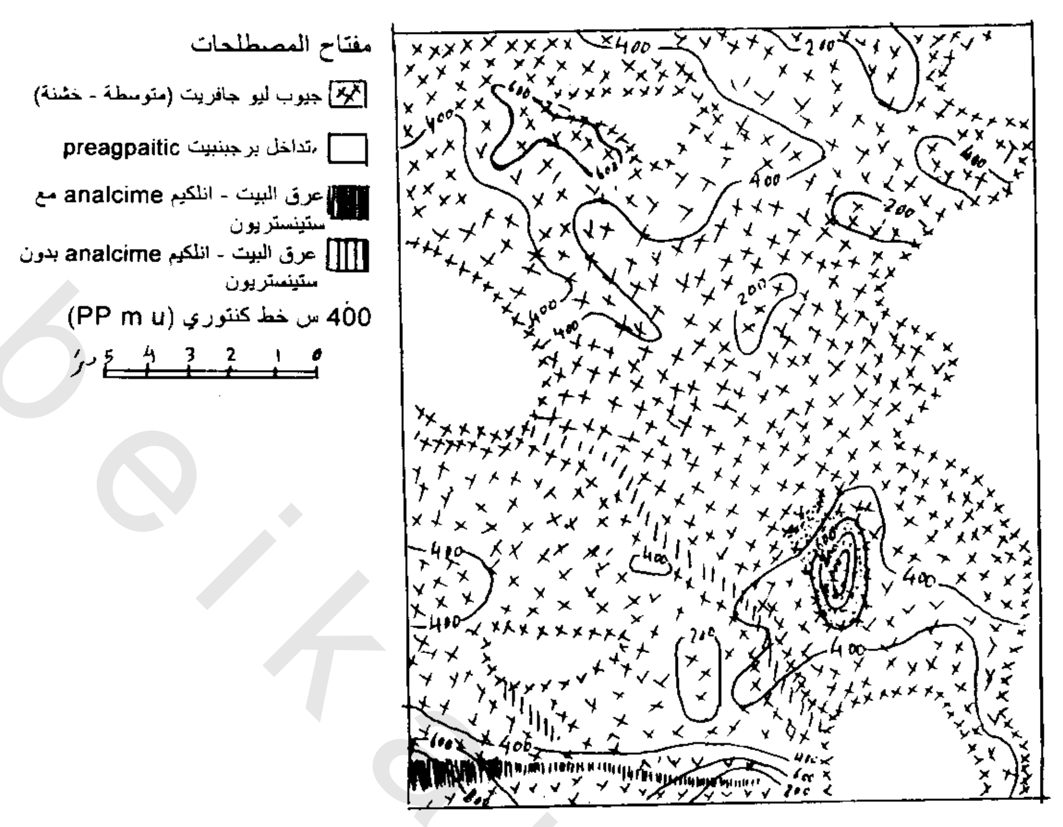


شكل (9-7): خريطة إشعاعية لشرق تنيس كوينتولى بالولايات المتحدة U.S، Tennessee and Kenturky ميزت ثلاث مناطق إشعاعية بواسطة معدل مستويات إشعاعية ونموذج واضح، وحدود التقسيمات الفيزيوجرافية. أ) هضبة كمبرلاند Cumberland، ب) منطقة وديان ونتوءات، ج) منطقة النتوء الأزرق (بلوردج Blue Ridge) (باتس Bates 1966)

أشعة γ المحمول (لوفبررج Lovberg 1972).توجد مقارنة جيدة بين كنتور الإشعاع والليثولوجى، ويوضح المثال ميزة فحص اليورانيوم والثوريوم فى المكان، خاصة فى حالات حقلية صعبة.

* حبيات خشنة من تراكيت وراديولايت حاملة نفيل ساينيت.

** معدن بنى غامق إلى أسود، معدن سداسى $(Ce, La, Na, Mn)_6(Si,P)_6O_{18}(OH)$



شكل (9-8): خطوط كنتورية لتركيزات يورانيوم (ppm) مركبة على خريطة جيولوجية لتمعدن المنطقة فى تداخل ليمايوساك Ilimaussaq جنوب جرين لاند Greenland

الفصل العاشر

طرق الحرارة الأرضية

Geothermal Methods

1.10 مقدمة Introduction:

دراسة السلوك الحرارى للأرض من أهم فروع الجيوفيزياء.

تأتى الحرارة التى يشعر بها عند سطح الأرض اساسا من الشمس. مع ذلك، فإن أغلب الحرارة الشمسية التى اكتسبها سطح الأرض تعود إلى الفراغ، ويستطيع جزء صغير جدا فقط اختراق عمق لعدة مئات الأمتار القليلة أسفل سطح الأرض. لذلك يكون تأثيره على داخل الأرض صغير جدا مقارنة بالحرارة التى تحدث داخل الأرض.

حاضرا، يعتقد أن المصدر الرئيسى للطاقة الحرارية فى داخل الأرض هى التحلل الإشعاعى لطول حياة النظائر. ربما تكون مصادر حرارية أخرى مثل الحرارة الأصلية وهى الحرارة المنطلقة بواسطة التجمع (بسبب عمل الجاذبية فى تجميع ودمج الأجسام من مكونات صغيرة) أساس أولى فى تاريخ الحرارة الأرضية.

فى بعض الأحيان، تتحول الحرارة تدريجيا من داخل الأرض للسطح، وأغلب الأمثلة لذلك هى البراكين والعيون الحارة. الحرارة المتسربة خلال الأرض، مباشرة أو غير مباشرة، تطلق عمليات جيولوجية مختلفة، والتى لها علاقة بالحركات التكتونية ونشاط الصخور النارية والمتحولة. يكون توزيع الحرارة أسفل عمق 100 كم غير مؤكد وتوزيع مصادرها وميكانيكية تحولها غير معروفة. برغم ذلك، يكون الموضوع كبير الأهمية لأنه إتجاه مهم للنظريات والفروض المتعلقة بأصل ونمو الأرض.

فى السنوات العشر الحديثة، أمدت الدراسات الواسعة للإنسياب الحرارى من الأرض بمعلومات عن خواص إقليمية واسعة لحالات حرارية أسفل الظواهر الجيولوجية الكبيرة للقارات والمحيطات. هذه المعلومات لها أهمية خاصية لنظرية تيارات الحمل فى الستار والتى بها فروض إنحراف القارات وتباعد أرضية البحار، وتطابق فواصل حركة الألواح. على المستوى المحلى، تستخدم القياسات الحرارية (خاصة شذوذ درجات الحرارة) للاستدلال عن مواقع التركيبات مثل قباب الأملاح الضحلة، الطيات المحدبة، الفوالق، الشقوق...إلخ. بالإضافة، تستخدم قياسات درجات الحرارة فى الآبار لمقارنة المستويات الاستراتجرافية (الطبقية).

2.10 الخواص الحرارية للصخور Thermal Properties of Rocks:

يلاحظ فى الآبار والمناجم، وغالبا فى أى مكان على الأرض زيادة الحرارة مع العمق. لذلك تنساب الحرارة فى الأرض من أسفل لأعلى. تعتمد كمية الإنسياب الحرارى îqî على معامل التوصيل الحرارى لمادة الصخر والتدرج الحرارى الشامل له. وتبين المعادلة الآتية هذة العلاقة

$$q = -K \text{ grad. } T \qquad (10\text{-}1)$$

حيث T التدرج الحرارى وهى معدل زيادة الحرارة مع العمق، وتقاس q بوحدات الطاقة لكل وحدة مساحة لكل وحدة زمن (W/m^2 بوحدات SI) وفى نظام c.g.s، تكون وحدة الشغل (ميكروكالورى/سم^2/ث).

قياس المعامل الحرارى للمادة هو سهولة الإنسياب الحرارى خلالها. تدل بعض الملاحظات البسيطة على أن المعامل الحرارى للأرض منخفض، مثال ذلك يكون التغير اليومى لدرجة الحرارة السطحية صعب الشعور به لعمق 1 م وتأثيراتها التى تخترق هذا العمق عند وصول نصف النهار أو أكثر تأخرا. يمكن إكتشاف تأثير درجات الحرارة لأمتار قليلة نوعا ما أسفل السطح فقط كتغيرات موسمية، وتصل لشهور متأخرة. مازال وجود دلالة عند عمق 1 كم تقريبا لبقاء درجات حرارة منخفضة من العصر الجليدى المتأخر (منذ حوالى 10,000 سنة)، حيث وضعت هذه التقديرات على عمق إختراق لموجه حرارية تمثل تغير (يومى، موسمى أو تغير فترة طويلة فى درجة الحرارة السطحية) للأرض وأمكن الحصول عليها من حل معادلة إتجاه واحد لمعادلة معامل حرارى.

يعتمد تأثير تباطؤ درجة الحرارة مع الزمن على الإنتشارية الحرارية d وتتحدد كالآتى

$$d = K/\rho \, Cp \qquad (10\text{-}2)$$

حيث K معامل التوصيل الحرارى، ρ الكثافة، CP الحرارة النوعية عند ضغط ثابت. وحدة d بنظام SI هى متر^2/ث.

تكون الإنتشارية الحرارية (وكذلك معامل التوصيل الحرارى) منخفض جدا لأغلب الصخور، حيث يكون مدى d ($0.5\text{-}2 \times 10^{-6}$ متر^2/ث) أو على المقياس الجيولوجى (15-60 كيلومتر^2/مليون سنة). هذا يعنى أن حدوث نشأة الحرارة على عمق لبعض عشرات من الكيلومترات سوف لاتدرك (تحس) بالقرب من السطح لمكان ما بين 10 & 100 مليون سنة، إذا انتقلت الحرارة بواسطة التوصيل مفردا.

يعطى جدول (10-1) قيم نموذجية لمعملات التوصيل لصخور ومعادن مختلفة. تتحكم المعادن الموجودة فى الصخور بامتداد كبير فى معامل التوصيل، ولكن يكون من المهم أيضا تأثيرات المسامية وزيادة درجة الحرارة والضغط أحسن تقدير لمعامل التوصيل هو (2.5 W/m°c) أسفل عمق حوالى 50 كم، اسفل هذا العمق يكون معامل التوصيل غير مؤكد.

جدول (1-10) معاملات توصيل حرارية عند درجة حرارة وضغط عادين (كلارك Clark 1966، بارازنس Parasnis 1971).

المادة	معامل التوصيل بوحدات (*W/mc°) SI	المادة	معامل التوصيل بوحدات (*W/mc°) SI
جرانيت	3.2-1.9 (2.7)	حجر رملى	3.2-2.5
جرانوديوريت	3.5-2.6 (3.0)	طفلة	1.8-1.3 (1.4)
نيس		صخر جيرى	3.0-2.0 (2.5)
أ) موازى للتورق	3.7-2.5 (3.1)	صخر ملحى	7.2-5.3 (5.7)
ب) عمودى على التورق	3.2-1.9 (2.7)	خام هيماتيت بلورة هيماتيت	10.5
بازالت	2.2-1.5	أ) موازى محور ج	12.1
ديابيرز	2.3-2.1 (2.2)	ب) عمودى على محور ج	14.8
		مجنيتويت	
جابرو	2.3-2.0 (2.15)	(متعدد التبلور)	5.3
سربنتين	3.8-2.0 (2.3)	ماء	0.59 عند 25° مئوية
ديونيت	5.2-3.7	ثلج	2.2 عند صفر درجة مئوية

* لتحويل وحدات SI إلى وحدات c.g.s (10^{-3} كالورى/سم.ثانية (درجة حرارة) يضرب المقدار فى 2.39.

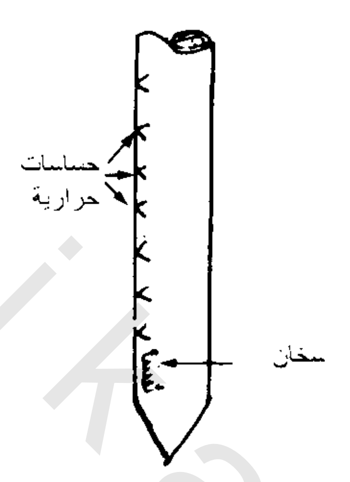
3.10 إنسياب الحرارة الأرضية Terrestrial Heat Flow:

تطلق هذه التسمية على الحرارة التى تنساب من داخل الأرض للسطح وتتسرب للفراغ، وتعتبر هذه كمية الطاقة الحرارية التى تفقدها الأرض، بمعنى آخر، ميزانية الحرارة المستهلكة. يكون معدل فقد الحرارة من سطح الأرض حوالى 4×10^{13} وات أو 1.25×10^{21} جول/سنة. فى مسطلحات الطاقة يكون هذا الإنسياب المخرج للحرارة أكثر تأثيرا للعمليات الجيوفيزيائية، حيث تكون أنظمة الطاقة المحتوية المفقودة فى الزلازل والبراكين قيمة منخفضة.

1.3.10 قياسات إنسياب الحرارة Heat Flow Measurements:

لتحديد إنسياب الحرارة يتطلب قياسين منفصلين، التدرج الحرارة $\frac{\partial T}{\partial Z}$ ومعامل التوصيل الحرارى K للصخور التى تقاس فيها درجات الحرارة. يحسب إنسياب الحرارة عبر وحدة مساحة بواسطة الصيغة (2-K $q-K\frac{\partial T}{\partial Z}$)

يوضح الشكل الخطى (10-1) جهاز حس (مسبار probe) لقياس إنسياب الحرارة فى رسوبيات لينة على أرضية المحيط. يلاحظ التدرج الحرارى فى الرسوبيات من قياسات درجة الحرارة على طول المسبار. بعد ذلك، يطبق التسخين الكهربى بأسفل المسبار عند معدل معروف، وبعد الوصول لحالة الثبات، يعاد قياس التدرج الحرارى. يحسب معامل التوصيل الحرارى K من الوضع الثانى للإرصادات ويكون الزمن المأخوذ لرصد إنسياب حرارى واحد 15 دقيقة.



شكل (10-1): جهاز حس يستخدم لقياس إنسياب الحرارة فى رواسب لينة لقاع المحيط

يستخدم على الأرض مسبار ثرمستور* (Thermistor) فى المناجم والآبار لقياس درجة الحرارة. ويمكن قراءة درجات الحرارة خلال 0.01 درجة الحرارة. ويمكن قراءة درجات الحرارة خلال 0.01 درجة مئوية بواسطة جهاز قنطرة مقاومة، ويمكن إعادة القراءات خلال أبعاد قصيرة للعمق. وحقيقة، فإن جميع الآبار تكون مملوءة بسائل، إذا مثلت حرارة السائل بدرجات غير مشوشرة لصخور عند نفس العمق، فإنه يجب أن يكون السائل خالى من التوصيل وتنتج الشوشرة الحرارية الأخرى بواسطة الحفر. يحتاج ترك البئر لأزمنة طالما تجرى عملية الحفر ليصل لتوازن حرارى. وتقاس معاملات التوصيل الحرارية لعينات البئر فى المعمل.

بدأت قياسات إنسياب الحرارة على الأرض فى عام 1930، وبعد عام 1980 بلغ عدد القياسات 2800، ووزعت هذه القياسات العشوائية برغم بداية القياست عند أرضية المحيط فى عام 1950 بعمل رائد لبيولارد ومساعدوه E.C. Bullard and his associates، فإن البيانات التى حصل عليها 1980 خارج العدد الذى أخذ على الأرض بأكثر من 6.0%. هذا يرجع لحقيقة أن القياسات أكثر سهولة للأخذ عند أرضية المحيط منها على الأرض، حيث تكون درجة حرارة الماء عادة مستقرة عند أرضية المحيط خلال طول العام، ولذلك لايوجد إحتياج لحفر بئر عميق. برغم التوزيع الكبير المتساوى لبيانات المحيط الملائمة فإنه يرى فجوات هامة فى مناطق كبيرة الإتساع.

2.3.10 بيانات إنسياب الحرارة العالمية Global Heat Flow Data:

قدم لى Lee 1970 تحاليل لحوالى 3130 قياسات إنسياب حرارى متاحة لهذا الوقت، حيث وجد أن معدل الإنسياب الحرارى العالمى من مساحة متساوية (5°x5°) هو 61 ولا يوجد اختلاف لهم بين معدل الإنسياب الحرارى القارى والمحيطى.

* معامل ذو معامل مقاومة حرارى كبير سالب (تقل مقاومته بارتفاع الحرارة).

أشارت تحاليل بيانات الإنسياب الحرارى العالمى عام 1980 والمقارنة عبر 7200 قياس بواسطة دافس Davies 1980 وسكلاتر وآخرين Sclater et al 1980 أن معدل الإنسياب الحرارى المحيطى أكبر بحوالى 70-80% من الإنسياب الحرارى الأرضى وهذا اختلاف هام عن لى Lee 1970. لم يقدر فى الماضى بالضبط الإنسياب الحرارى المحيطى لملاحظة أن الفقد الحرارى بسبب النشاط الهيدروثرمل (حرمائى-الحرارة المائية) عند النتوءات نسبيا صغير. الآن، يلاحظ أن حوالى ثلث الإنسياب الحرارى المحيطى يعطى بوساطة دوران هيدروثرمل عند نتوءات المحيطات. يعطى جدول (10-2) قيم لإنسياب حرارى عالمى وإنخفاضه المفاجئ لمشاركات قارية وبحرية.

3.3.10 العلاقات بين العمر-الإنسياب الحرارى heat Flow-Age Relationships:

بنمو ملاحظات الإنسياب الحرارى عبر مناطق مختلفة التكتونية، أصبح من المظاهر مقارنة إتساع الإنسياب الحرارى مع عمر القشرة الأرضية لمكان الاقياس، هذا العمر للقشرة المافية فى المحيطات، حيث الوضع الماجمى والنقل بعيدا عن نتوءات المحيطات. وتكون علاقة العمر على القارات مع الحدث الأخير للحركات الحرارية المؤثر على مكان القياس. يكون نقص الإنسياب الحرارى مع زيادة عمر القشرة ظاهرة مميزة لكلا من المحيطات والقارات شكل (10-2).

جدول (10-2) قيم معدل الإنسياب الحرارى (q) والحرارة الكلية المفقودة (Q) من داخل الأرض.

نوع المنطقة	* (مت وات/متر٢)	Q^{**} (10^{13}x)	المرجع
قارات جافة	61	0.90	لى Lee 1970
محيطات ورنوف قارية (بواسطة التوصيل)	61	2.21	
إتساع عالمى	61	3.11	
قارات ورفوف	57	1.15	(سكلاترو وأخرين (Sclater et al 1980
محيطات (بواسطة توصيل)	66	2.03	
محيطات (حرمانى)	33	1.01	
محيطات (كلية)	99	3.04	
إتساع عالمى	82	4.20	
قشرة قارية (شابمان وبلاك (Chapman & Pallach 1975	53	1.09	دافيس Davies 1980
أحواض محيطية (توصيل + حرمانى)	100	3.06	
إتساع عالمى	81	4.15	

يتميز الإنسياب الحرارى المحيطى بواسطة كبر لافت للنظر وقيم عالية التغير حديثا مكونة القشرة عند حافات القمم، حيث يقل إلى معدل منخفض وقيم قليلة موزعة عبر أحواض المحيطات بعيدا عن النتوءات،

* يكون عدم التأكد فى تقدير معدل قيم q من المحتمل حوالى 10%. لتحويل هذه القيم لوحدات c.g.s (μ كالورى/سم^2.ث) يضرب فى 10^{-3}x23.9.

** Q= sq حيث S المساحة السطحية. المساحة السطحية للأرض 10^{14}x5.1 م^2، أحواض المحيطات 10^{14}x3.06 م^2 والقشرة القارية 10^{14}x2.04 م^2.

ويحدث معدل القيم المنخفضة (~45 متر وات/م^2) عند أخاديد المحيطات شكل (10-3). يتكون إنخفاض الإنسياب الحرارى المحيطى مع زيادة عمر أرضية المحيط مع الوضع الماجماتيكى لقشرة محيطية حديثة التى تبرد تدريجيا لكما إنتشرت بعيدة عن النتوء. قدر بارسونس وسكلاتر Parsons and Sclatter 1977 الحرارة الداخلية لبرودة طبقة المحيط 1350 درجة مئوية وسمكها بحوالى 125 كم. يمكن إعتبار نموذج تبريد هذا النوع لحوالى 85% من الإنسياب الحرارى الكلى للمحيط، ويمكن توضيح أن 15% الباقية بواسطة الإنسياب الحرارى للغلاف الصخرى (الليثوسفير) من الستار الأسفل ونسبيا اشتراك صغير من المولد بالحرارة الإشعاعية المنتجة خلال الغلاف الصخرى (ليثوسفير).

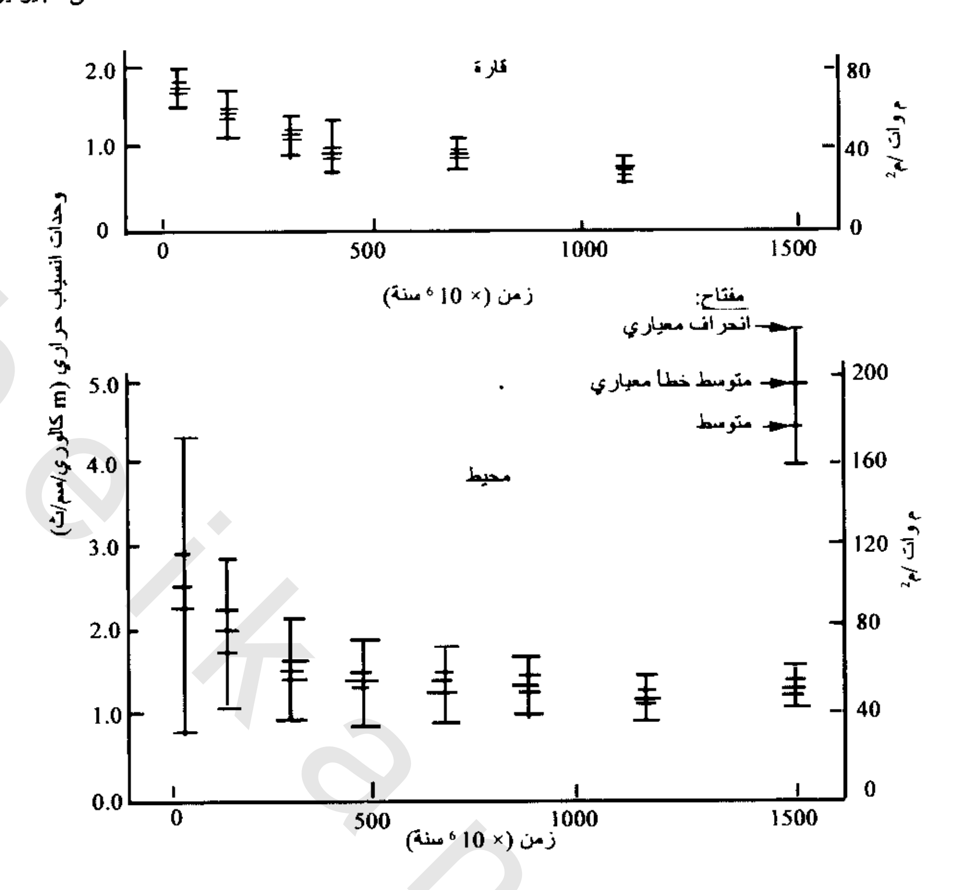
يمتد إنخفاض الإنسياب الحرارى القارى مع العمر (شكل 10-2) عبر فترات طويلة من الزمن ويكون أكثر تعقيدا من مثله للمحيطات. تكون أكبر قيمة ملاحظة (~90 م وات/م^2) فى مناطق دروع البركامبرى القديم. يعمل النشاط الإشعاعى لصخور القشرة العلوية مشاركة هامة للإنسياب الحرارى القارى. يمكن فصل مشاركة النشاط الإشعاعى للقشرة العلوية للإنسياب الحرارى من عميقة المصدر ظاهريا بالطريقة الآتية.

إذا كانت A (وات/م^3) الحرارة الناتجة من صخر لكل وحدة حجم. عندئذ، فإنه لعمود قشرة أرضية حيث تتسرب الحرارة للسطح عند نفس المعدل التى تنتج عندها، يكون إنسياب الحرارة السطحية زائدة فوق عمود متشابه (b) (بالمتر) bA (وات /م^3) عند إنسياب الحرارة لقاعدة العمود حيث يتوقع علاقة خطية بين A, q من الصيغة

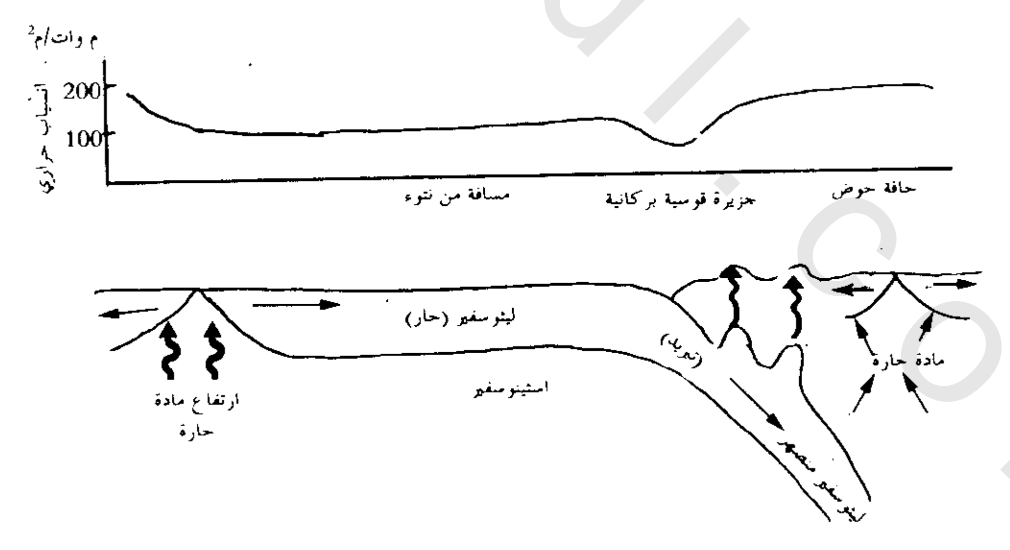
$$q = qo + bA \qquad (10\text{-}3)$$

حيث يعطى الجزء المقطوع q_o الفيض الحرارى من المصادر العميقة تحت طبقة السطح. يرى شكل (10-4) لتنقيط الملاحظ لأنسياب الحرارة السطحية (q) والمنتجة (A) لثلاث مناطق تكتونيه مختلفة فى الولايات المتحدة. يعطى ميل الخط المستقيم الملائم لمجموعة الأرصاد السمك b لإشعاع "القوى" الطبقة السطحية، لخصت النتائج من مناطق إنسياب حرارى بواسطة فيتوريللو وبولاك Vitorella and Pollack 1980، أدرجت التحديدات الموضوعة فى جدول (10-3) على أربع أو أكثر إرصاد.

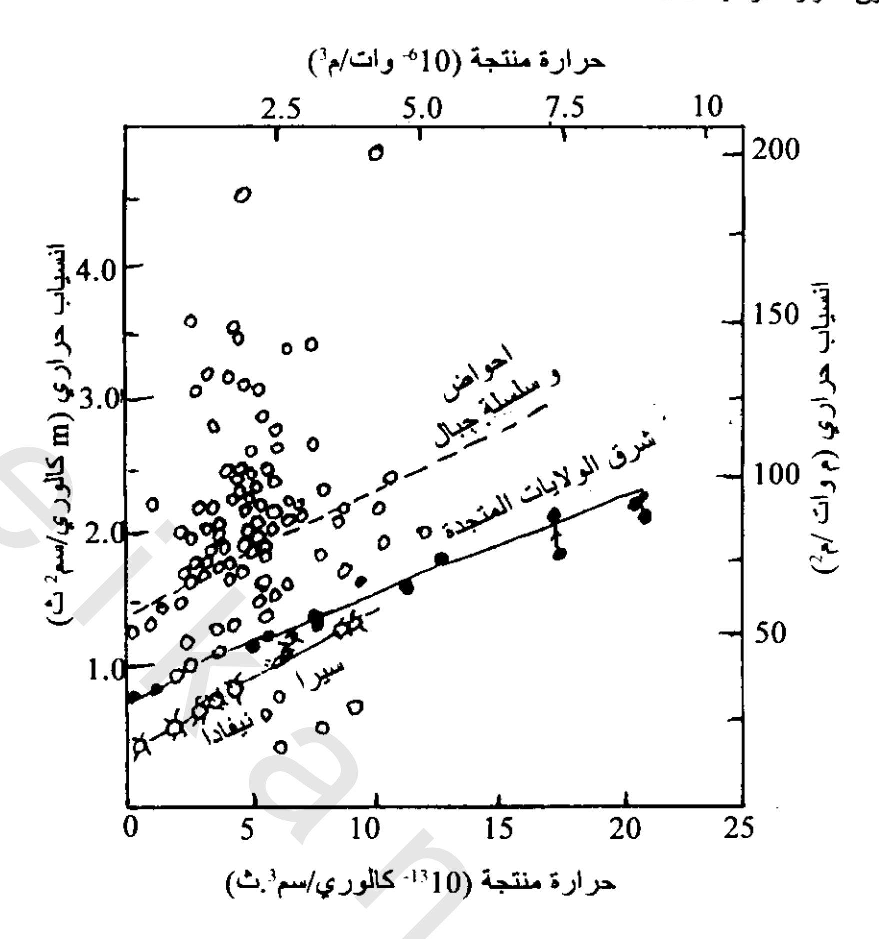
تبعا لفيتوريللو بولاك Vitorello & Pollach فسر تقليل الإنسياب الحرارى القارى مع العمر التكتونى فى مصطلحات لنموذج ثلاث مركبات.المركبة الأولى هى مولد إشعاع حرارى من منطقة غنية النظائر فى القشرة العلوية، والتى تشترك بحوالى 40% من الإنسياب الحرارى المرصود فى تضاريس لجميع الأعمار التكتونية. المركبة الثانية هى الحرارة المتبقية من الحرارة المضطربة العابرة المصاحبة لتقدم تبريد المحيط القارى التالى لحدث التكتونوحرارية المتأخرة. هذا الإضطراب العابر يصل تقريبا إلى 30% من الإنسياب الحرارى المرصود فى مناطق تكتونية الثلاثى، بتأثير توصيل مستدق للصفر فى تضاريس البركامبرى الأقدم، المركبة الثالثة هى خلفية فيض حرارى لحوالى 27متر وات/متر^2 لمنطقة عميقة، محتمل اتيانها من مصادر مولد إشعاع حرارى أسفل القشرة العلوية الغنية بالمواد المشعة وبواسطة الإنسياب لأعلى الستار أسفل المحيط القارى الصخرى. وهى توضح أن هذه فقط نموذج تجريبى (غير نهائى).



شكل (10-2): رصد متغير لقيم إنسياب حرارى فى قارة ومحيط واعتماده على زمن صخور القشرة (شابمان وبلاك Chapman & Poccack 1975).



شكل (10-3): نموذج لإنسياب حرارى محيطى (المنحنى العلوى) يمكن توضيحه بواسطة نموذج لخلق لوح ليثوسفير حديث والذى يبرد تدرجيا كلما بعد عن النتوء وأخيرا انغمس لأسفل الاسثينوسفير. تنتج الحرارة العالية المنسابة فى الجزيرة القوسية من إرتفاع المجاما من صهير الليثوسفير. (معدل من برس وسيفر Press & Siever 1978)



شكل (10-4): إرصادات لإنسياب حرارى وحرارة إشعاعية منتجة من صخور بلورية فى الولايات المتحدة. منحنيات التراجع الخطى من (روى وآخرين Roy et al 1968) من مناطق أحواض وسلسلة جبال (الخط المقطع)، شرق الولايات المتحدة Eastern U.S.، وسيرانيفادا Sierra Nevada. الثلاث دوائر المفتوحة على منحنى شرق الولايات المتحدة عند حوالى الكالورى/سم^2.ث (= 42 م وات/م^2) من جبال كلامات Kalamath فى جنوب كاليفورنيا Claifornia (لاشينبروش وساس Lachenbruch & Sass 1977)

4.3.10 مناطق شذوذ الإنسياب الحرارى Regions of Anomalous Heat Flow:

فى مناطق كثيرة حيث عملت قياسات كافية، لوحظ تغيرات هامة لمعدل الإنسياب الحرارى. وكما هو متوقع فإن كثير من مناطق الإنسياب الحرارى العالمى حددت مواقعها قرب نتوءات محيطية اساسية، حيث يكون الإنسياب الحرارى عالى التغير فى هذه المناطق. محليا، لوحظت قيم عالية خمس مرات للمعدل العالمى، وذلك لأن هذه المواقع تكافئ البراكين ومناطق الحرارة الأرضية على الأرض، وتشارك هذه المواقع فى تحديد مصادر الحرارة (بقع حرارية) الواقعة عند أعماق ضحلة خلال عشرات كيلومترات قليلة من السطح. تتكون الماجما المنتجة لهذه البقع الحرارية عند أعماق كبيرة جدا، وذلك من المحتمل بواسطة إنشطار جزئى لمواد الستار فى رفع تيار الحمل.

جدول (10-3) متوسط إنسياب حرارى (q)، تقليل الإنسياب الحرارى (%)، عمق مميز (b) لعدة مناطق إنسياب حرارى. N عدد نقط البيانات المستخدمة فى علاقة خطية بين الإنسياب الحرارى والحرارة الناتجة. (فيتوريللو & بولاك Vitorello & Polack)

قارات ومناطق	N	q (م وات/م^2) ±s.d	q_o (م/وات/م^2) ± أمر غير محقق	b (كم)	قارات ومناطق	N	q (م وات/م^2) ±s.d	q_o (م/وات/م^2) ± أمر غير محقق	b (كم)
أمريكا الشمالية					**أوروبا**				
حوض ونتوء	86	33±92	34±69	10	أوكرانيا	12	8±37	2±25	7.1
سيرانفادا	10	13±37	3±18	10.0	انجلترا وديلز	10	23±59	3±23	160
شرق الولايات المتحدة	15	17±57	4±33	7.5	**استراليا** غرب	9	8±39	8±26	4.5
أعلى كندا	11	8±34	1±21	14.4	وسط	10	21±83	6±27	11.1
جنوب أمريكا					**الدرع الهندي**				
الدرع الشاطنى البرازيلي	4	15±36	7±28	13.1	الروتـــوزدى المتأخر	4	(1±7)	2±38	14.8

* تقليل الإنسياب الحرارى (%) هو الإنسياب الحرارى المقطوع لصفر حرارة منتجة معادلة (٣-١٠)

كثير من مناطق شذوذ الإنسياب الحرارى على القارات بعيدة عن مناطق البراكين وأنظمة الوديان الأخدودية. ترى أغلب مناطق الأنشطة التكتونية أعلى قيم، وأغلب مناطق الإستقرار (دروع البريكامبرى القديم) تشير لأقل القيم. تملك سلسلة الجبال الحديثة مثل الألب وأيضا بعض المناطق الغير تكتونية إنسياب حرارى حوالى 50% فوق معدل الإنسياب الحرارى للقارات. أساسا، ربما يكون الإنسياب الحرارى لمساحات نشوء الجبال الحديثة نتيجة تكثيف القشرة الأرضية خلال بناء الجبال. ترى بعض المناطق إنسياب حرارى عالى بدون دلالة لتكثيف القشرة الأرضية. مثلا فى جنوب شرق أستراليا يكون الإنسياب الحرارى المرصود حوالى 50% فوق معدل القيم القارية (ساس Sass 1964). تكون هذه الشواذ الإقليمية بسبب التركيز العالى الغير عادى لمصادر الحرارة الإشعاعية فى القشرة أو فى أعلى الستار، والمثال الآخر موجود فى حوض هيونجاريان (المجر Hungarian) بمناطق أوربا. هذا الحوض لرسوبيات الثلاثى السميكة محاطة بكارباثيارس Carparthiaris ودنارك dinaric الألب، حيث يكون الإنسياب الحرارى المرتفع مشارك لمنشأ التكتونية البركانية للحوض. تكون المياه الحارة المسحوبة من أعماق 1000-2000 متر فى الحوض مصدر هام للطاقة الحرارية فى المجر Hungary.

فى الولايات المتحدة، يرى الحوض ومنطقة السلسلة شاذات أنسياب حرارى عالى مع تشتت كبير فى الأرصاد. هنا، يكون التغير فى الإنسياب الحرارى منسوب كبيرا للمصادر العميقة (مثل نقل الحرارة الحرمائية والماجما)، التى تكون مشاركة للإنسياب الحرارى أكثر من طبقة النشاط الإشعاعى المشع.

4.10 الحرارة المنتجة وانتقالها في الأرض: Heat Production and Transfer in the Earth

يعتقد أن النشاط الإشعاعى وتحول الجاذبية إلى طاقة حرارية هما أكبر مصادر للحرارة فى داخل الأرض حقيقة أن جميع حرارة النشاط الإشعاعى تنتج بواسطة نظائر اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم المتوافرة فى أنواع صخر اساسية والتى تبنى القشرة والستار كما هو موضح فى جدول (4-10) والذى يعطى أيضا تقديرات للحرارة المنتجة لكل كيلوجرام لمادة الصخر. يشمل الجدول أيضا تقديرات من بعض مواد متعلقة بتاريخ الحرارة الأرضية.

حتى أواخر 1960 كان الإنسياب الحرارى القارى مشارك لسمك (30-35 كم) "السليسيك Silicic" من طبقة القشرة الأرضية مع حرارة ناتجة مولدة بالإشعاع. منذ أن قدرت الحرارة الناتجة فى قشرة المحيط (فرضت بـ 5 كم من البازلت) فقط بـ 3% من حرارة المحيط المرصودة، نوظرت بأن ستار المحيط ربما 500 كم لأسفل وله تركيز أكبر لعناصر نشاط إشعاعى من الستار القارى (ماكدونالد Macdoland 1965). والآن عدلت هذه الأفكار. كما ذكر سابقا، أن متوسط حوالى 60% من إنسياب حرارى القارات تأتى من الداخل العميق وحوالى 40% يشترك بواسطة النشاط الإشعاعى القشرى. فى المقابل، تكون القشرة البازلتية المحيطية الرفيعة غير محتملة الإشتراك بأكثر من نسبة مئوية قليلة للإنسياب الحرارى المحيطى، لذلك ففوق 95% من الإنسياب الحرارى المحيطى الملاحظ يجب أن يأتى من تحت القشرة المحيطية. فى كل الأحوال، فإن الإنسياب لأعلى من الستار أسفل القشرة يكون مطلوب. لهذا، فإن الستار يجب أن يتضمن فى إنتاج الحرارة لتنفيذ رصد الإنسياب الحرارى.

يوجد مصدرين محتملين كبيرين وكافيين لإنتاج حرارة أساسية فى الستار. الأولى حرارة من النواة تسلم إلى قاعدة الستار. هذه لأن أى مصدر طاقة يحتاج لدوران دينامو جيومجنتك (مغناطيسية أرضية) فى النواة الخارجية. هذه ربما تكون بسبب إما إنحلال النشاط الإشعاعى للبوتاسيوم ^{40}K أو نمو النواة الداخلية. هذه التقديرات غير مؤكدة ولكن تتراوح من 10%-30% من الحرارة المفقودة من الأرض، (إلسر وآخرين Elasser et al

جدول (4-10) تقديرات الحرارة المنتجة فى مواد أرضية

المادة	(تكون جزء لكل مليون (ppm)[1]			منتج الحرارة الحاضرة (10^{-} وات/كجم)	المادة	(تكون جزء لكل مليون (ppm)			منتج الحرارة الحاضرة (10^{-} وات/كجم)
	يوارانيوم U	ثوريوم Th	بوتاسيوم K			يوارانيوم U	ثوريوم Th	بوتاسيوم K	
جرانت	5	18	38000	940	بيرنوتيت[3]	0.015	0.06	100	2.7
بازلت	0.6	3	8000	170	كهوندريت	0.012	0.043	850	5.2
القشرة القارية العليا	1.6	6	19000	390	متوسط أرضى	0.018	0.065	170	4.2[4]

١. أخذت القيم من جدول (2) مع إضافة بيانات من توركيان Turekian 1972 وأندرس Anders 1977

٢. حسبت من معدل الحرارة الناتجة بواسطة نظائر النشاط الإشعاعى لليورانيوم (U) والثوريوم (Th) والبوتاسيوم (K) من جدول 3.

٣. ممثلة لمادة الستار.

٤. قورنت الحرارة الناتجة مع متوسط الحرارة المفقودة لكل كجم للأرض ($7x10^{-12}$ وات/كجم). حصل على هذا بواسطة ضرب إنسياب الحرارة السطحية المرصودة (0.081 وات/م^2) بواسطة المعامل (المساحة السطحية للأرض (د))/(كتلة الأرض (M)). من المهم ملاحظة أن الحرارة الحاضرة المفقودة للأرض أكبر من حرارتها الناتجة.

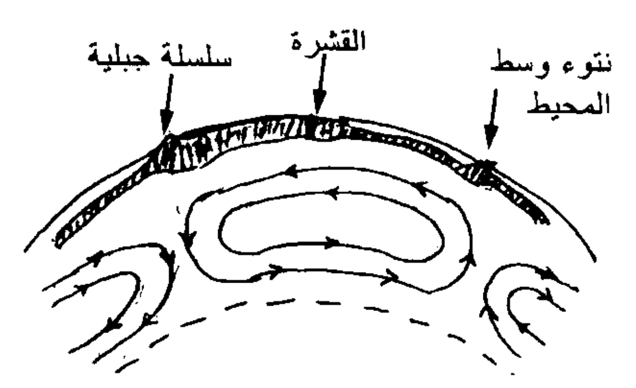
1979. المصدر الثانى هو حرارة مؤكدة إشعاعيا فى الستار. حيث أن النظائر الكبيرة لليورانيوم U، والثوريوم Th والبوتاسيوم K تكون قوية السيليكية، لذلك تكون مركزة جدا فى القشرة الأرضية العلوية كنتيجة أن الستار مستنفذ كثيرا فى العناصر الإشعاعية (جدول 10-4) بالمقارنة بالقشرة القارية. بما، لكبره الكتلى فإن الحرارة الكلية الناتجة فى الستار ربما تكون كافية لعمل مشاركة هامة للانسياب الحرارى الكلى المرصود. لذلك، فإن الإنسياب الحرارى السطحى يكون أساسا مشارك لإنتاج النشاط الحرارى الإشعاعى فى القشرة القارية والستار مع مشاركة من النواة.

غالبا تنقل الحرارة المتسربة خلال المحيط اليابس بواسطة التوصيل الحرارى. تكون حرارة الإشعاع منخفضة جدا لارتباطها الهام لإنتقال الحرارة. يكون السماح بحدوث التوصيل للمحيط اليابس صعب جدا ماعدا عند نتوءات المحيطات فإن التوصيل يتم بواسطة دوائر حرمائية. مشكلة انتقال الحارة أكثر تعقيدا فى الستار أسفل المحيط اليابس، حيث التوصيل الحرارى غير محتمل التأثير الميكانيكى لنقل الحرارة من عمق الأرض الداخلى. بسبب شموله ثبات زمن كبير. بفرض نفس الخواص الحرارية لصخور القشرة، فإن إنتقال الحرارة بواسطة التوصيل خلال المائة كيلومتر الأعلى للأرض ستأخذ 5 بليون سنة، والتى تكون أكبر من مسافة امتداد الحياة للأرض. لذلك، لابد للنظر بقوة لميكانزم آخر لإنتقال الحرارة فى الستار. عند درجات الحرارة العالية، مثل السائدة فى الستار، فإن إنتقال الحرارة بالإشعاع تسود على التوصيل. ربما، تكون المعادن المكونة للستار نسبيا معتمة، وربما تقلل زيادة العتمة مع العمق فاعلية الإنتقال الإشعاعى. لذلك يكون الإشعاع غير محتمل الإرتباط الهام لإنتقال الحرارة فى داخل الأرض.

وهذا يجعل اللجوء للتوصيل المعروف كميكانزم مؤثر لإنتقال الحرارة فى السوائل مطلوب. ومع أن علم الزلازل يشير إلى أن الستار أساسا متبلور، ولكن تحت حالات معينة من الممكن أن تسلك المواد الحالة الصلبة عبر أزمنة قصيرة وسوائل لزجة عبر فترات طويلة. وتحت حالات تحمل طويلة للضغط العالى ودرجات الحرارة العالية، ربما يتزحف الستار ويصبح نهائى شبه مادة لزجة. لذلك، فى الحقيقة يمكن أن يكون التوصيل ممكنا (محتملا). أدت هذه الفكرة الجاذبة لبيولارد وآخرين Bulard et al 1956 للاقتراح أن أغلب إنسياب حرارة المحيط المحمولة خلال الستار العلوى تكون بسبب التوصيل.

ربما يعتمد احتمال التوصيل الحادث فى الستار العلوى على أغلب عياريته اللزوجية η. حيث اقترح احتمالية أن اللزوجة للستار الأسفل لايكون أكثر كبرا من التى للستار العلوى وهذا يؤدى لتوصيلية الستار، وإذا وجدت هذه الاحتمالية فإنها تشمل الستار ككل.

تفاصيل نموذج التوصيل، سواء كان الستار واسع أو محدد إلى عدة كيلومترات قليلة علوية فقط شكل (5-10) سوف تعتمد على تركيبات الستار، والتى تشمل وجود تغيرات طورية، كعلاقة اللزوجة والعمق وتوزيع حجم مصادر الحرارة. مازالت هذه التغيرات قليلة المعرفة، ولكن يوافق أغلب الجيوفيزيقيون اليوم على أن توصيل الستار، فى بعض الشكل، يكون ممكن ويظهر تأثيره الميكانيكى لنقله الحرارة من الستار أسفل المحيطات.



شكل (10-5): نموذج للحمل الحرارى فى الستار العلوى، ترتفع تيارات الحمل بالقرب من نتوءات المحيط والتفريغ الحرارى كأنه ينساب باتجاه القارات

5.10 درجات الحرارة داخل الأرض Temperatures Within The Earth:

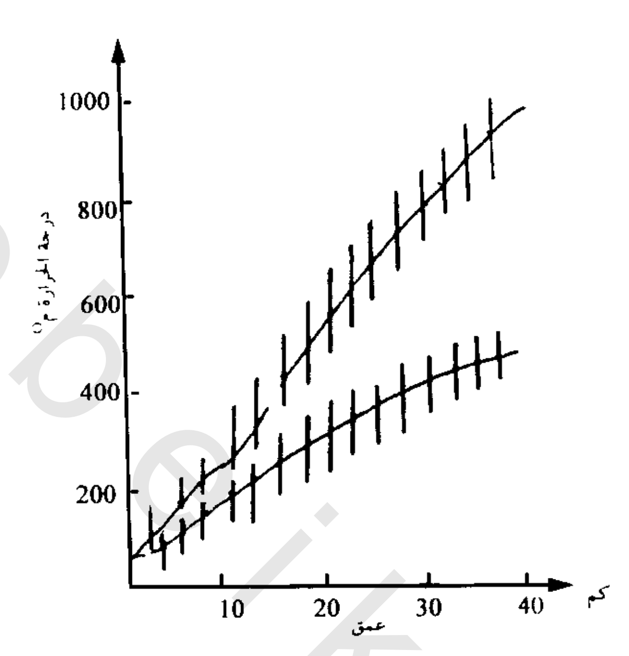
أبسط طريقة لدراسة درجات الحرارة الأرضية هى حفر بئر واستخدام قياس حرارى حساس أو مسبار ثيرمستور*، وليس من الضرورى الحفر دائما، حيث يمكن استخدام وجود مداخل المناجم، الأنفاق وأبار البترول لهذا الغرض. أظهرت الدراسات التى حصل عليها بهذه الطريقة أن درجة الحرارة الأرضية عند أى موقع تزيد مع العمق، ويكون متوسط معدل الزيادة (المسمى بتدرج الحرارة الأرضية) حوالى 3 درجات مئوية لكل 100 متر عمق فى المناطق الغير بركانية.

لتقدير درجة حرارة الأرض خلف عمق عدة كيلومترات فإن قياس إنسياب الحرارة السطحية q تكون الحل لهذا التقدير، ويمكن فصلها إلى مشتركات حرارة من صخور النشاط الإشعاعى السطحى ومن المناطق تحتها بواسطة رسومات خطية مثل التى فى شكل (10-4). يكون معرفة هذين للحرارة كافيا للحصول على توزيع درجة الحرارة-العمق فى القشرة الأرضية. يظهر شكل (10-6) تقديرات درجات حرارة تحت عمق 4 كيلومتر فى منطقتين مختلفتين بالولايات المتحدة. ترى إنسياب الحرارة العالية فى حوض نشاط تكتونى وسلسلة جبال (مرتفعات) زيادة سرعة أكثر للحرارة مع العمق. يكون معدل تدرج الحرارة فى الجيولوجيا القديمة وشرق الولايات المتحدة المستقر أقل كثيرا من التى فى منطقة الحوض وسلسلة الجبال.

سمك قشرة المحيط 6 كم فقط ويكون نتاج النشاط الإشعاعى منخفض التأثير جدا على تقدير التدرج الحرارى. تكون درجات الحرارة أسفل سطح المحيط سائدة بواسطة الحرارة المتوالية فى قاعدة المحيط اليابس من الستار أسفله. يكون أحسن تخمين لدرجة حرارة حوالى 1200 درجة مئوية عند قاعدة لوح المحيط اليابس عندما يكون فى تلامس مع جزء الغلاف المائع المنصهر (من الستار). هذه تعطى تقدير تقريبى لدرجات الحرارة عند أعماق 70-100 كم أسفل المحيطات العادية (بعيدة عن النتوءات المحيطية).

لتقدير درجة الحرارة فى الستار والنواة يجب الرجوع إلى الطرق المباشرة، وضعت الاستنتاجات حول توزيع درجات الحرارة عند أعماق كبيرة على رصد السرعات السيزمية وتغيرات التوصيلية الكهربية ، ولكن تعتمد هذه على افتراضات الخواص الفيزيائية بافتراض أن مادة الستار (بيردوتيت؟) عند الضغوط ودرجات الحرارة العالية.

* مقاوم ذو معامل مقاومة سالبة حرارية كبيرة (تقل مقاومته بارتفاع الحرارة).



شكل (10-6): تقديرات درجات حرارة أسفل عمود 40 كم فى حوض – سلسلة جبال (BR) وشرق الولايات المتحدة (EUS) لمناطق بالولايات المتحدة الأمريكية. وضعت التقديرات على معرفة إنسياب حرارى وحرارة منتجة فى المنطقتين ، ترى الأعمدة الرأسية تقديرات غير مؤكدة (بلاكويل Blackwell 1971 ولاشنبروش وساس Lachenbruch & Sass 1997)

تمد الزيادتين السريعتين فى سرعة الموجات السيزمية عند أعماق 400، 600 كم دلائل هامة، حيث يظن أن قفزات هذه السرعة بسبب تغيرات طورية والتى تحدث عند الوصول للضغوط ودرجات الحرارة الحرجة. حقق طول التغير عند عمق 400 كم فى المعمل بواسطة تجارب على معدن الأوليفين بواسطة تعريضه لزيادة الضغوط ودرجات الحرارة. تقرر هذه التجارب أن درجة الحرارة تقترب إلى 1500° مئوية عند عمق 400 كم، أما درجة الحرارة المطلوبة لتغير الطور عند 700 كم قدرت نظريا بالإضافة لبيانات السيزمية وطبيعة الحالة الصلبة لتكون حول 1900° مئوية. بالإتجاه عمقا للستار، عامة افترض أن درجات الحرارة ترتفع مع زيادة العمق أكثر إنحدارا من التدرج الأديباتيكى (تدرج حرارى يرجع لإنضغاط مواد الأرض).

أيضا عرف من علم الزلازل أن الستار يكون صلب وأن النواة الخارجية تكون سائلة. لذلك فإن درجة الحرارة خلال الستار تحت نقطة منحنى الصهير للستار، حيث يجب أن تزداد درجة الحرارة عند حد الستار-النواة عن نقطة انصهار الحديد لتقليل سيولة النواة، وتبقى أسفل درجة حرارة صهير الستار لتقلل صلابته، هذه الدرجة الأخيرة، تبعا لبعض تقديرات التصحيح، تكون مناسبة فى المدى من 3000°-3800° درجة مئوية.

مد الدليل الآخر لتقدير درجة الحرارة بواسطة الحد بين النواة الخارجية والنواة الداخلية والتى شدد على صلابتها بواسطة علماء الزلازل بفرض أن هذا الحد يميز صلابة خليط Fe-FeS، فقد قدرت درجة الحرارة عنده بواسطة ستاسى Stacey 1977 حول 4000° مئوية. يأخذ هذه كواحدة من نقط درجات الحرارة الثابتة وبفرض أن توزيع درجات الحرارة مع العمق فى النواة الخارجية تتبع التدرج الأديباتيكى، فإن درجة الحرارة عند الحد بين الستار والنواة يقدر حول 3000° مئوية.

بتلخيص المناقشة السابقة، فإن المنحنى المشرط لشكل (10-7) يستخدم لتقدير خام لتوزيع درجة الحرارة داخل الأرض.

6.10 طرق التنقيب الإشعاعي Thermal Prospecting Methods:

تستخدم قياسات الحرارة الأرضية لاستطلاع مصادر الحرارة التحت سطحية والقريبة من السطح، حيث تجلب حول التغيرات المحلية في درجة الحرارة تحت الأرض بوساطة عدة أسباب

i) تأثير تحلل الماء الأرض
ii) التأثيرات الكيميائية الناتجة في تفاعل اكسوثرمي (طارد للحرارة)
iii) وجود مصادر حرارة لنشاط إشعاعي محلي.
iv) الإختلاف في معاملات توصيل الصخور.
v) وجود مصادر بركانية وحرمائية (هيدروثيرمل)

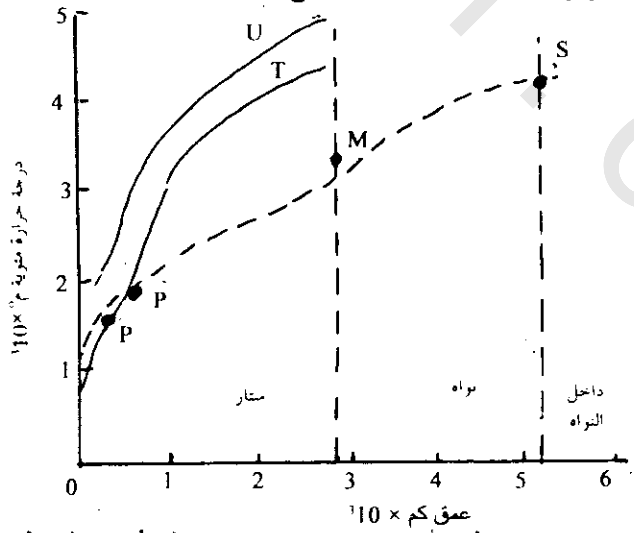
لاستطلاع مصادر الحرارة عند أعماق كبيرة، من المهم ان تشمل قياسات الإنسياب الحراري عبر المنطقة. ربما، في التنقيب لمصادر حرارية ضحلة، في أغلب الأحيان تكون قياسات درجات الحرارة عند عمق 2 متر كافية، وتفسير شذوذ درجات الحرارة نسبيا عادلة. هذه الظواهر تجعلها طريقة جاذبة للحصول على معلومات تحت سطحية للإستخدام الإقليمي للإضافة إلى البيانات السيزمية والمقاومة الكهربية.

في السنوات الحديثة زاد إستخدام الطرق الحرارية في التنقيب عن المياه الأرضية، الثلاجات ومستودعات المياه الرسوبية، خزانات حرارية، قباب ملحية ضحلة، فوالق، شقوق... الخ.

1.6.10 تقنيات القياس Measuring Techniques:

صممت عدة وحدات للقياسات الحرارية (ثرمستور Thermisto) دقيقة للاستعمال الحقلي. وأحد من التصميمات (كركمار وماس Krckmar and Masin 1970) قادر للقياس من 0°-70° مئوية ودقته النسبية 0.01° مئوية. يحفظ (يحمى) العنصر الحساس بواسطة حقيبة صغيرة وتوصل لقضيب فلزي بطول 2-5 متر أو بطول الكابل إذا عملت القياسات في آبار عميقة.

تأخذ طرق القياسات وتصحيحاتها في الاعتبار بعض تأثيرات مضطربة، وأكثرها أهمية يكون بسبب التغيرات اليومية لدرجة الحرارة المسببة بواسطة الإشعاع الشمسي. لابد من ملاحظة التغيرات في التربة أسفل



شكل (10-7): توزيع مقترح لدرجات الحرارة في الأرض عند p، p` موضوع على فرض تغير طوري عند أعماق تقترب من 400، 600 كم، U منحنى نقطة صهير للستار (يوفن Uffe 1952)، T درجة حرارة مستنتجة من التوصيلية الكهربية (توزر Tozer 1957)، M درجة الحرارة عند الحد بين الستار-النواة (مكينزيس McKenzies 1967) معدلة من منحنى توزر، S درجة الحرارة في داخل الحد الخارجي للنواة مميزة بواسطة صلابة Fe-FeS (سناسي Stacey 1977)

عمق حوالى 1.5 متر. لإزالة تأثير التغير اليومى، تقاس درجات الحرارة فى الآبار الضحلة والمحفورة بواسطة جهاز حفر خفيف أو محفورة بواسطة قضيب صلب ومطرقة. خلال فصل الشتاء، تنجز قياسات فرضية بواسطة قياس تحت الغطاء الثلجى، كما أشار إليها كركمار Krckmar 1968. للوصول لتماس حسن بين التربة ومسبار الحس، يدفع الأخير لحوالى 5 سم لقاع البئر إلى أن يصل ثبات درجة الحرارة فى أغلب الحالات خلال نصف ساعة.

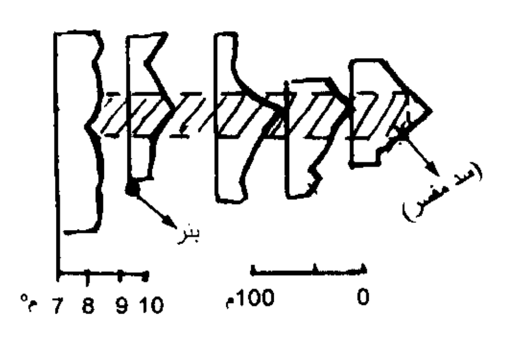
حيث أن القياسات تأخذ عادة بعض الأسابيع لتغطية مساحة معينة، يكون من الضرورى عمل التصحيحات لإزاحة صغيرة منتظمة معينة، يكون من الضرورى عمل التصحيحات لإزاحة صغيرة منتظمة فى مستوى درجة الحرارة السنوى. لهذا الغرض تحفظ حساسات عند مواقع محطات مرجعية ملائمة، وتؤخذ القراءات منها كل يوم خلال المسح. حديثا جدا تطور إستخدام مقاسات الأشعة التحت حمراء (infrared radiometers IR) للطيران لتخريط صورة تحت حمراء لمناطق حرارية كبيرة مثل الموجودة بجزر الثلج (بلماسون وآخرين Palmason et al 1970). أيضا استخدمت أقمار صناعية جوية مداراتها على ارتفاعات عالية وزودت بأجهزة تحليل عالية لقياسات الأشعة تحت الحمراء. ((High resolution to infrared radiometers (HRIR) لتسجيل انبعاث الأشعة التحت حمراء. المسح بواسطة الأقمار الصناعية الأرضية تقنية حديثة تنمو بأهمية، كمسجل طويل المدى جدا لدرجة الحرارة والذى يشير إلى شاذات يكون من الصعب اكتشافها عند أرباع أخرى (مارش وآخرين Marsh et al 1976).

2.6.10 أمثلة من المسح الحرارى الأرضى Examples of Geothermal Surveys:

1.2.6.10 رسوبيات خام الكبريت فى سولفاكيا Sulfide Ore Deposits in Solvakia:

أخذ هذا المثل من كركمان وماس Krckmar and Masin 1970 لمنطقة سبس-جمر من سولفاكيا Spis-Gemer, Solvakia، حيث يوجد خامات كبريتيدات السيديرايت فى بلورات صخور نارية متحولة (شيست) من زمن الباليوزوى. مع طبقات جرافيت. عامة، لاتحتوى الخامات على معادن مغناطيسية ومعامل التوصيل الكهربى لها نفس معامل الجرافيتات. لهذا السبب فإن كلا من المسح المغناطيسى والكهربى لم يعطيا نتائج مرضية. ربما، تحدث تفاعلات طرد الحرارة (أوكسوثرمى) فى منطقة التأكسد لرسوبيات الكبريت حيث تجعل من الممكن تطبيق استطلاعات الحرارة الأرضية.

يرى شكل (10-8) بروفيلات بشاذة درجة حرارة مرصودة عبر جزء من المنطقة. تسبب التضاريس الغير منتظمة والغطاء النباتى المتغير اختلافات فى مستوى ا درجة الحرارة، ولذلك، ميزت فقط شاذات محلية أعلى من أنبوبة، أختيرت منطقة شاذات درجات الحرارة الموجيه بالتفصيل وطبقت بواسطة الحفر، وخلال الحفر قطع عرق بتمعدن كبريتى.



شكل (10-8): شاذات حرارية (خط متصل ثقيل) عبر رسوبيات كبريت فى سلوفاكيا (كركمار وماسن Krckmar & Masin 1970)

2.2.6.10 تخريط حرارى لشقوق وشروخ :Thermal Mapping of Fissures and Cracks

نجحت تطبيقيا عدد من طرق حالات الحرارة لإيجاد الشقوق والشروخ التى على طولها أخذ انتقال الحمل الحرارى للحرارة مكانه من عمق خلال فاعلية الماء أو الغاز. أعطى كابلميو وهانيل Kappelemeyed and Haenel 1974 مثال لاستطلاع جيوب لمياه حرارية فى كهوف حجر جيرى. يرى شكل (10-9) خريطة تساوى الحرارة الأرضية فى منطقة نكرتال (جنوب ألمانيا) (Nerkertal (S. Germany حيث ينساب الماء الحار من عمق 100-150 متر لأعلى خلال الشقوق والشروخ ويشوش على إنتشار الحرارة الإقليمية. يوضح هذا المثال أنه من الممكن تحديد أماكن الشقوق التحت سطحية التى يرتفع خلالها الماء من عمق كبير ويدخل لمستودعات الماء تحت السطح بواسطة قياسات حرارية عند أعماق ضحلة.

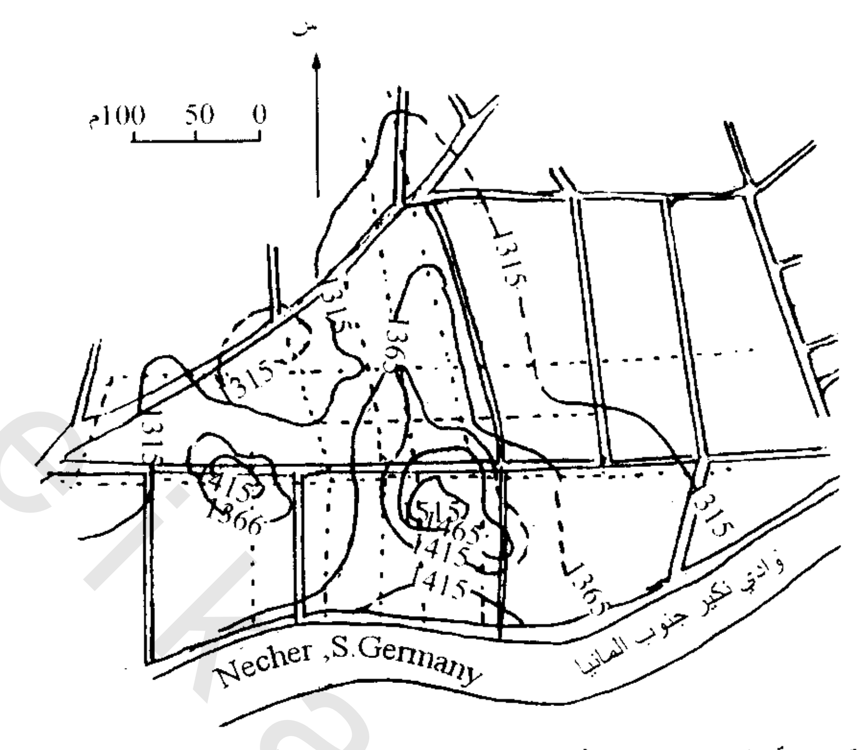
عندما تنتقل الحرارة بواسطة تسرب الغاز أو البخار، فإن شاذات درجات حرارة لقيم أكبر من 50° م تظهر عبر بعض مناطق الشقوق على جزيرة اسشيا فى ايطاليا Ischia in Italy.

3.2.6.10 تركيبات ملحية وجرانيتية :Salt and Granite Structures

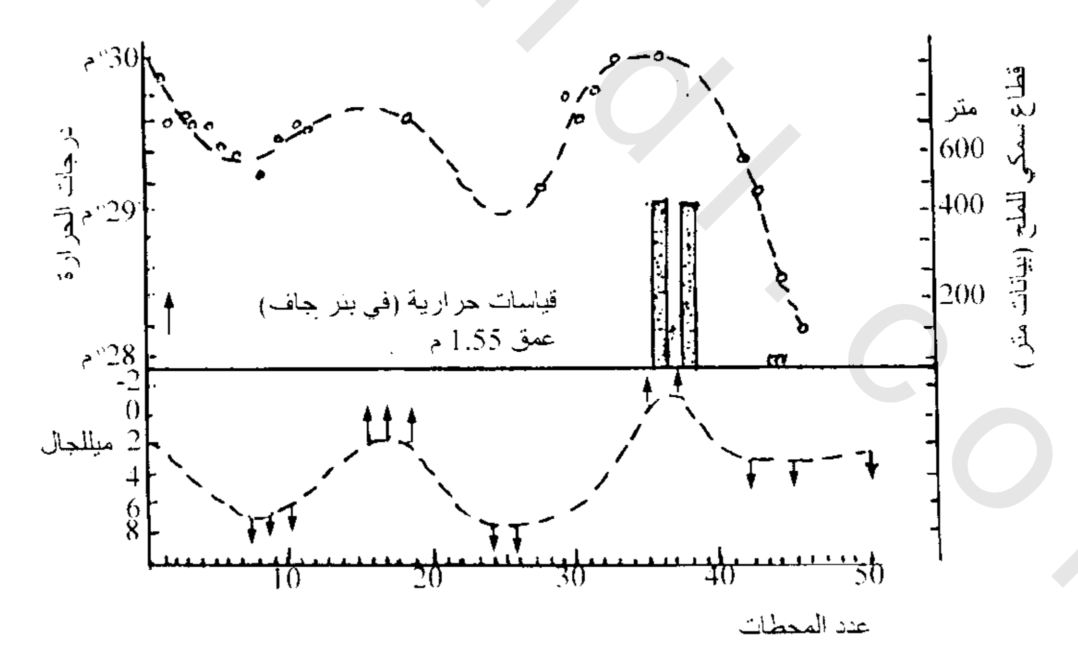
وضحت دراسات عديدة أن تداخل ملح عالى التوصيل تسبب اضطراب قوى فى درجات الحرارة للرسوبيات التى فوقها. مثال المسح الحرارى المستخدم لتحديد تركيبات الملح الخطية معطاه بواسطة بولى وفان ستيفينك Poly and Van Steveninch 1970. يرى شكل (10-10) بروفيل درجة حرارة على طول خط بروفيل طوله حوالى 10 كم، أكبر أبعاد المحطات 200 متر. يشمل الشكل بيانات الجاذبية على طول خط البروفيل، وكذلك أسماك طبقات الملح المواجهة فى الآبار العميقة. مقياس بروفيل الجاذبية معكوس ليرى التوافق أكثر وضوحا. يرى أن المقارنة 1:1 توجد بين الحرارة العالية (أكبر ملح) وجاذبية منخفضة. توزيع الملح فى الآبار تؤكد التنبؤات الحرارية.

أخذ المثال فى شكل (10-11) من جاكوسكى Jaksoky 1950، حيث اكتشف فيه شاذة حرارة عبر تداخل الجرانيت فى تلامس مع الحجر الجيرى عند أعماق ضحلة. يشبه منحنى الشاذة فى شكل بروفيل الجاذبية المتوقع عبر تركيب فالق. واضح من المثال أن شاذة درجة الحرارة تنسب أكثر إلى حرارة النشاط الإشعاعى العالى المولد فى الجرانيت أكثر من توصيلها.

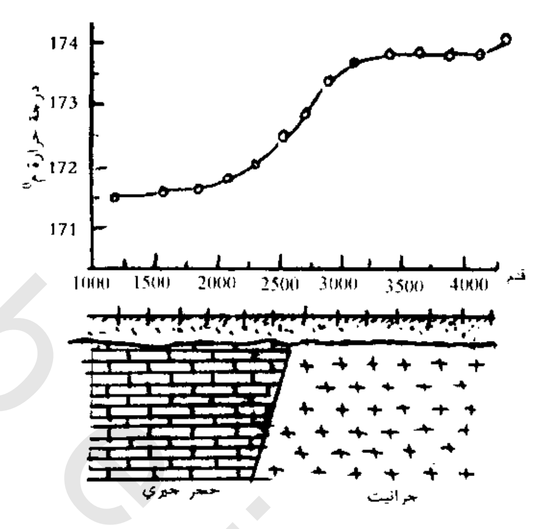
فى هذا الإرتباط، ربما يذكر بعض الملاحظات الهامة لتدرج درجات الحرارة التى حصل عليها خلال إنشاء النفق الكبير (ست جوتثارد فى سويسرا St. Gotthard in Switzerland). أثناء العمل فى النفق، عند المرور خلال النيس والشيست.كان معدل تدرج الحرارة 1/47 م° متر وأصبح التدرج 1/21 م° متر عند قطع الجرانيت فى نهاية الشمال. من تحليلات عينات الصخور وجد أن الجرانيت يحتوى على غير العادة نسبة عالية من مواد نشاط أشعاعى، والتى تكون هامة لتسجيلات درجات الحرارة العالية، وضح ريباخ Rybach 1973 أن ناتج درجات الحرارة فى صخور الألب بسويسرا تحكم كلية بواسطة احتوائها للنشاط الإشعاعى، ولاتعتمد على التغير فى معامل التوصيل الحرارى.



شكل (10-9): شاذة حرارية عند عمق 1.5 متر فى كيبنجين، وادى نكير (جنوب ألمانيا) Krabingen, Necker Vally (South Germany). المسافة الكنتورية 0.5° م. الشاذة بسبب ماء كارست Karst والذى برز من عمق عدة مئات من الأمتار فى داخل المياه الأرضية. (كابلمير وهانيل 1974 Kappelemeyed and Hnenel)



شكل (10-10): تماثل بروفيلات الجاذبية (ميللجال) مع الحرارة (م°) عبر تركيب ملحى ضحل المسافة بين المحطات 200 م (بولى وفان ستيفينيك Polye & Steveninck 1970)



شكل (10-11): بروفيل حرارى ضحل عبر تداخل جرانيتى فى تلامس مع الحجر الجيرى (جاكوسكى Jakosky 1950)

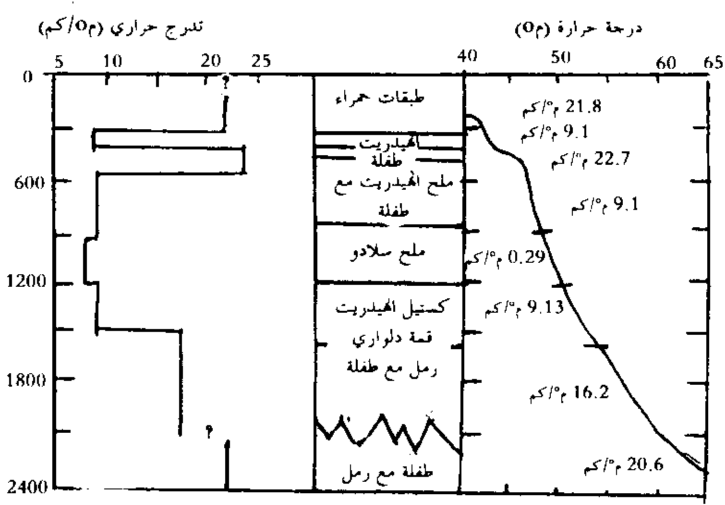
4.2.6.10 المعلومة الليثولوجية (علم وصف الصخور) من تسجيلات الحرارة Lithology Information from Temperature Logs:

بتغير التدرج الرأسى لدرجات الحرارة فى الأرض خلال حدود واسعة (5°-70°/كم)، معتمد على الخواص الحرارية للصخور، ويمكن استخدام درجات الحرارة فى الآبار العميقة فى مضاهاة المستويات الاستراتجرافية.

كمثال، يرى شكل (10-12) تسجيل لدرجة حرارة، تدرج حرارى، ليثولوجى فى بئر نوثروب Northrup غرب تكساس Texas، حيث يستدل على التغيرات الهامة بوضوح للتدرج الحرارى مع التغير الليثولوجى. يحدث التدرج الحرارى الكبير فى الطفلة والأقل فى طبقات الملح والأنهيدريت. هذا متوقع، حيث أن الملح والأنهيدريت له معامل توصيل عالى وتبعا لذلك يظهر تدرج حرارى منخفض.

7.10 إستكشاف لمصادر الحرارة الأرضية: Exploration for Geothermal Resources

يزداد إدراك مصادر الحرارة الأرضية كمصدر طاقة بديل فى مشهد متطلبات الطاقة العالمية، والتى تنمو كمعدل أسى. أعطى أرمستيد Armstead 1978 إعتبار عام لمصادر طاقة الحرارة الأرضية واستخداماتها. وجدت أكثر علاقة تطورية حديثة تتعلق بالإستكشاف والأستثمار لحقول الحرارة الأرضية فى خط بيانى أحادى monograph بواسطة جيوبتا Gupta 1980، وأعطيت عدة حالات سيزمية (تاريخية) بواسطة ريباخ وموفلر Rybach and Muffler 1981.



شكل (10-12): درجات حرارة، تدرج حرارى وليتولوجى لبئر نورثروب، تكساس Northrup, Texas (هرن وكلارك (Herrin and Clark 1956

ربما يحدد حقل الحرارة الأرضية كنظام مخزون حرارى والذى منه يمكن استخراج المتطلبات الإقتصادية والخدمية المنزلية والصناعية. الطرق الرئيسية التى تستخدم عامة لتحديد مواقع حقول الحرارة الأرضية المحتملة وهى:

أ) الطرق الجيولوجية والهيدروجيولوجية

ب) الطرق الجيوكيميائية

ج) الطرق الجيوفيزيائية

ومن الطرق الجيوفيزيائية، الطرق الحرارية، الكهربية، الكهرومغناطيسية، أما الطريقة السيزمية فهى محدودة للآن.

1.7.10 الطرق الحرارية Thermal Methods:

من أوائل الطرق أهمية للتنقيب الحرارى هى مسبار درجة الحرارة فى الآبار وخرائط إنسياب الحرارة السطحية، حيث تكون قاعدة مكونات درجة الحرارة هى أهم الخواص الفيزيائية للتنقيب عن الحرارة الأرضية، فقط، مازال قياس درجات الحرارة فى الآبار العميقة هى الطريقة الملائمة للحصول على معلومة عن درجة الحرارة الأساسية لخزان حرارة أرضية محتمل. أيضا، تمد آبار الآستكشاف ببيانات عن الجيوكيمياء والهيدرولوجيا والنفاذية، كذلك يساعد تخريط إنسياب الحرارة السطحية فى تحديد منطقة الحرارة المركزة للخزان وفى تقييم إنتاجه الحرارى.

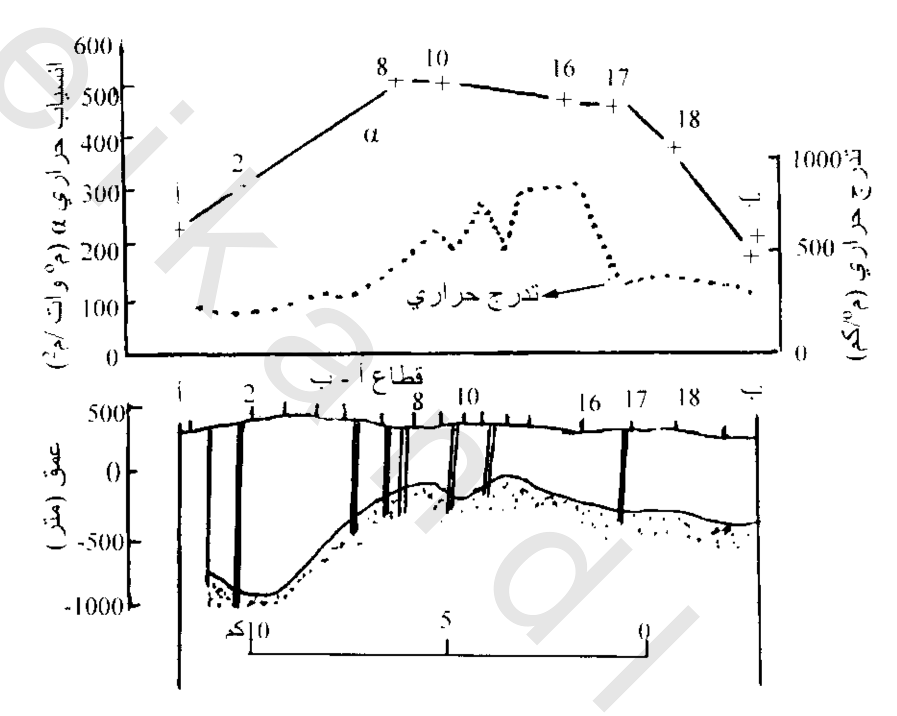
أعطى بولدزسار Boldizsal 1963 مثال لقياسات إنسيابات حرارية نافعة فى تحديد خطى لمنطقة مركز إنتاج فى حقل بخار طبيعى عند لارديرللو، إيطاليا Larderello, Italy. يرى شكل (10-13) قياسات نتائج تدرج حرارى وإنسياب حرارى عبر قطاع حقل إنتاج بخار. من الأهمية ذكر أن الإنسياب الحرارى يرتفع بين محطات أ، 8 بشدة وبعد ذلك يقل بثبات إلى ب. منحنى تدرج الحرارة غير منتظم يرى أكبر قيمة عند محطة 16 حيث أن معامل التوصيل الحرارى (محدد من قياسات معملية) صغيرة قيمة الإنسياب الحرارى 580م وات/م^2، وهى أكثر حوالى 10 مرات من معدل الإنسياب الحرارى القارى. الصخور القريبة من السطح عبارة عن طفلة غير نافذة ذات معامل توصيل حرارى منخفض. وهذا يفسر الإنسياب الحرارى العالى وانخفاض معامل التوصيل ولماذا يكون تدرج الحرارة عاليا نوعا ما بين 300-800 م$^{\circ}$/كم. وحيث أن الحجر الجيرى تحت الطفلة الغير منفذة مشقق لذلك ينقل الحرارة الآتية من أسفل. تتفق منطقة إنتاج البخار المركزة مع القطاع الموضح لقيم إنسياب حرارى عالى أكثر نوعا ما من تدرجات درجات الحرارة.

2.7.10 الطرق الكهربية والكهرومغناطيسية Electrical and Electromagnetic Methods:

وضعت تطبيقات طرق الكهربية والكهرومغناطيسية لقياسات الحرارة الأرضية على حقيقة ان معامل التوصيل الكهربى للصخور يزداد بسرعة مع زيادة درجات الحرارة. عامة، يشار لظهور حقول المياه الحارة كمنطقة معامل توصيل عالية (مقاومة قليلة) باعتبار وجود أملاح مذابة، بينما يشار لظهور حقول البخار كمنطقة معامل توصيل منخفض (مقاومة عالية). ربما تحجب هذه الدلالات بواسطة عوامل خاطئة. فمثلا، وجود

تكوينات الطين تعطى إرتفاع للمقاومة المنخفضة ولهذا يحدث اضطراب فى تفسير النتائج. وبما أن الماء المالح البارد أو ماء البحر لهما مقاومة أقل من أوم متر، لذلك فإن كثير من الأحواض الرسوبية، حيث يتجمع الماء المالح، تبرز مقاومة منخفضة بدون أى إتصال مع درجات الحرارة التحت سطحية.

عملت مسوحات جيوفيزيائية لمناطق حرارة أرضية، خاصة بالطرق الكهربية فى عدة أجزاء من العالم. أمدت هذه المسوحات لمنطقة الطين البركانى فى يلوستون ناشونال بارك، بالولايات المتحدة الأمريكية Yellow Stone National Park (U.S.A.) بمثال جيد لقياسات المقاومة، الأستقطاب الحثى (IP) والجهد الذاتى (SP) التى عملت لتقييم الخواص الكهربية الأرضية لبخار حقل حرارة أرضية معروف وساند.



شكل (10-13): إنسياب حرارى، تدرج حرارى وقطاع جيولوجى خلال حقل إنتاج بخار عند لاردرللو، ايطاليا Larderello, Italy (بولدزسار Boldrzsar 1963)

يرى شكل (10-14) بيانات الكهربية الأرضية التى حصل عليها بواسطة زهدى وآخرين Zohdy et al 1973 عبر قطاع لحقل حرارة أرضية. قيست المقاومة الظاهرية والاستقطاب الحثى بأبعاد أقطاب من 180-300 متر بينما قيست أبعاد أقطاب الجهد الذاتى بـ 120 متر.

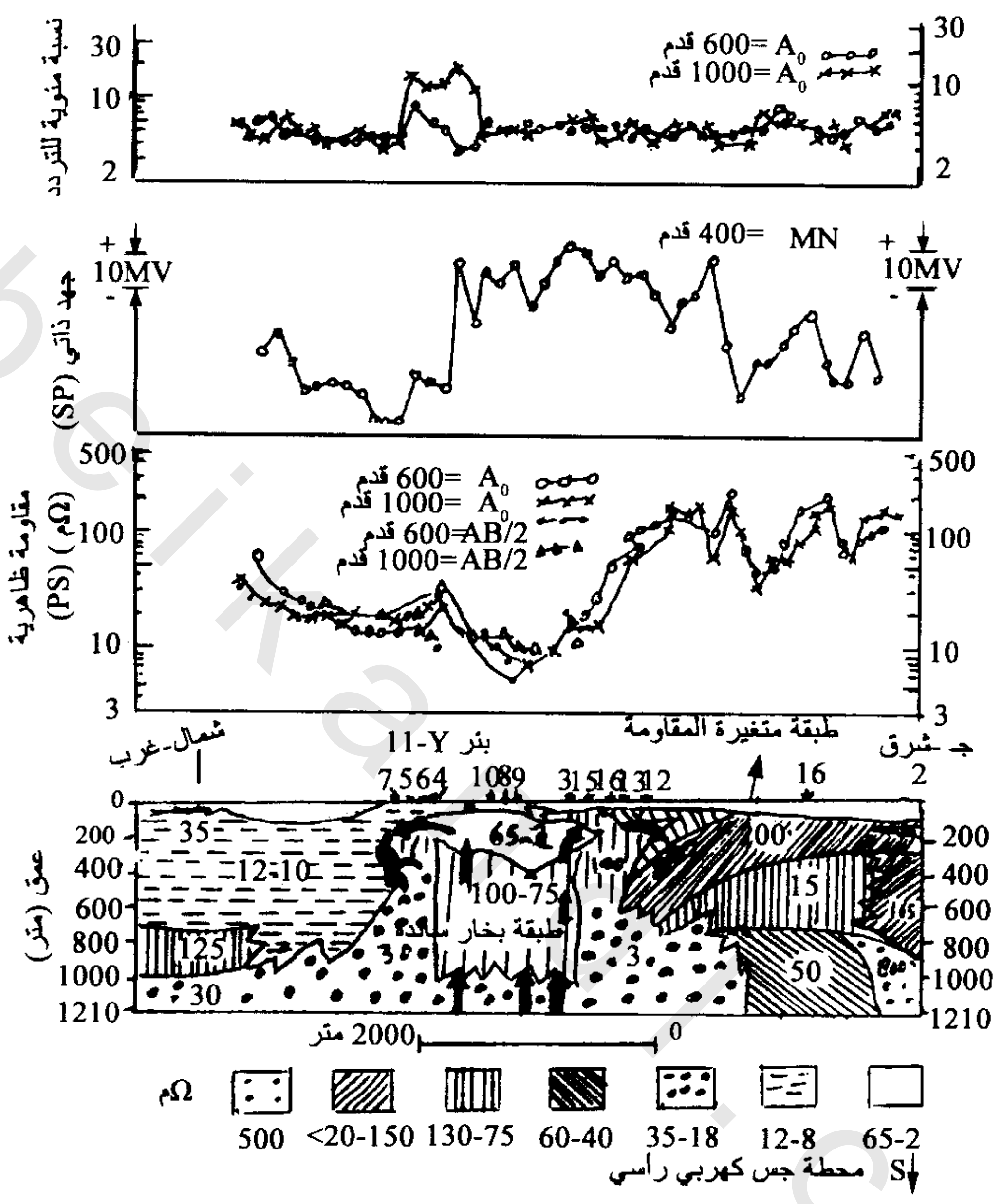
رصدت أقل قيم للمقاومة الظاهرية من بيانات البروفيل الأفقى عبر مركز الحقل الحرارى، بينما أسماك قيم 2-65 أوم م تكون الأكبر. فسرت المقاومة الظاهرية عند أكبر مسافات أقطاب بعبارات عن وجود طبقات عميقة عالية المقاومة (بخار ساند) تمت طبقة ضحلة منخفضة المقاومة. أنتجت قياسات الجهد الذاتى شاذات عريضة موجبة عبر منطقة الحرارة والتى فسرت بعبارات لمياه متحركة لأعلى فى حركة متصلة بواسطة مصدر حرارى عميق.

تمت قياسات الجهد الذاتى فى تردد سائد عند 0.1، 1.0 هرتز، وتأثير نسبة منوية التردد ورسمت هذه القياسات على مقياس لوغاريتمى. من المحتمل أن تكون الزيادة النسبية فى تاثير الجهد الذاتى فى الحد الشمالى الغربى المجاور للنطاق الحرارى بسبب زيادة كمية إنتشار رسوبيات البيريت بواسطة دورة المياه الحرارية. عضد هذا التفسير بواسطة بيانات معدنية لبئر γ-11 والتى اشارت لوجود البيريت من أعماق 15 متر إلى قاع البئر عند 106 متر. والحقيقة، تغطى الأبعاد الكبيرة للأقطاب (A°=1000 قدم ≈ 300 متر) أكبر شاذة جهد ذاتى، لذلك اقترح ان البيريت وإنتشاره يزيد مع العمق عند حد نطاق الحرارة.

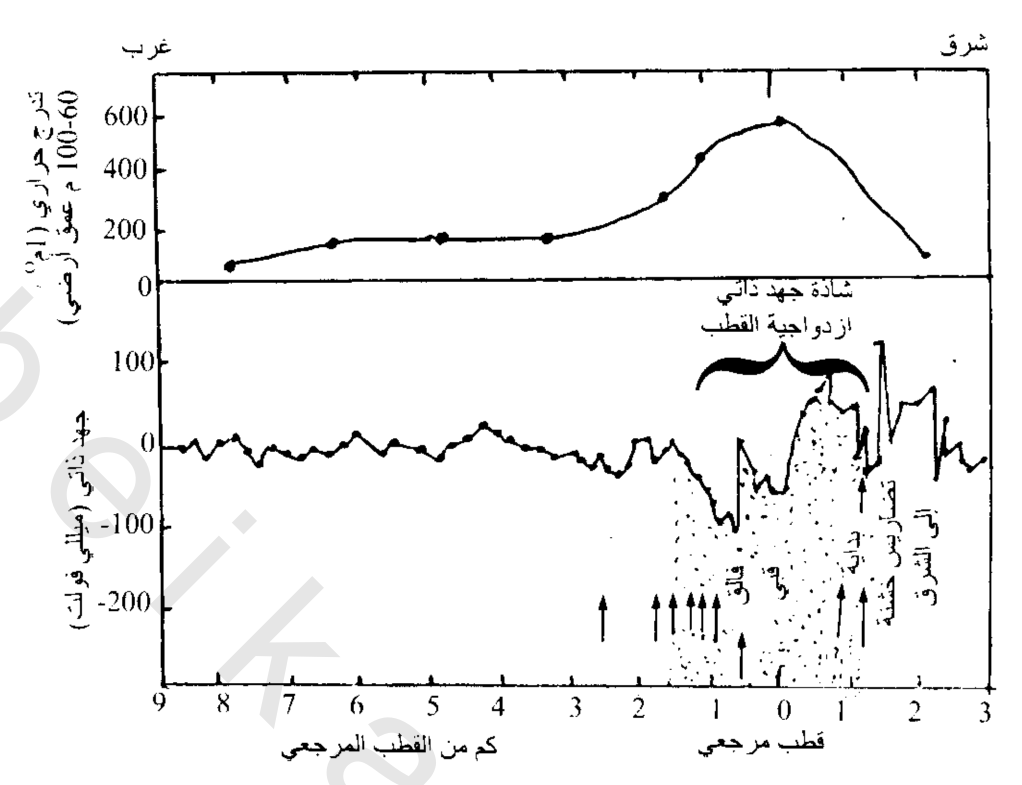
سجلت مدى شاذات للجهد الذاتى بسعة من حوالى 50 ميللى فولت إلى أعلى من 2 فولت عبر مسافات من 100 متر إلى عدة كيلومترات قليلة عبر اثنى عشر منطقة حرارة أرضية. شكل (10-15) يوضح مثال لعلاقة شاذة الجهد الذاتى لنشاط الحرارة الأرضية الموجودة فى منطقة عيون روزفلت الحارة، يوتاوا، الولايات المتحدة (Roosevelt Hot Spring Area, Utah, U.S.).

استعرضا وقدرا كوروين وهوفر Corwin & Heover 1979 تطبيقات لطريقة الجهد الذاتى فى استكشاف الحرارة الأرضية. تبعا لهذين المؤلفين، فإن أغلب إستخدامات مسوحات الجهد الذاتى الواعدة فى مناطق الحرارة الأرضية تظهر عند الكشف أو تتبع أثر الفوالق والتى تتحكم فى إنسياب السوائل الحرارية. يكون غالبا للتدرج الحاد لشاذات الجهد الذاتى مصاحبة لنطاقات الفوالق الحاوية على السوائل الحرارية، بينما الإتساع، نسبيا يقارن بشاذات جهد ناعم مضطرب بمناطق الإنسياب الحرارى.

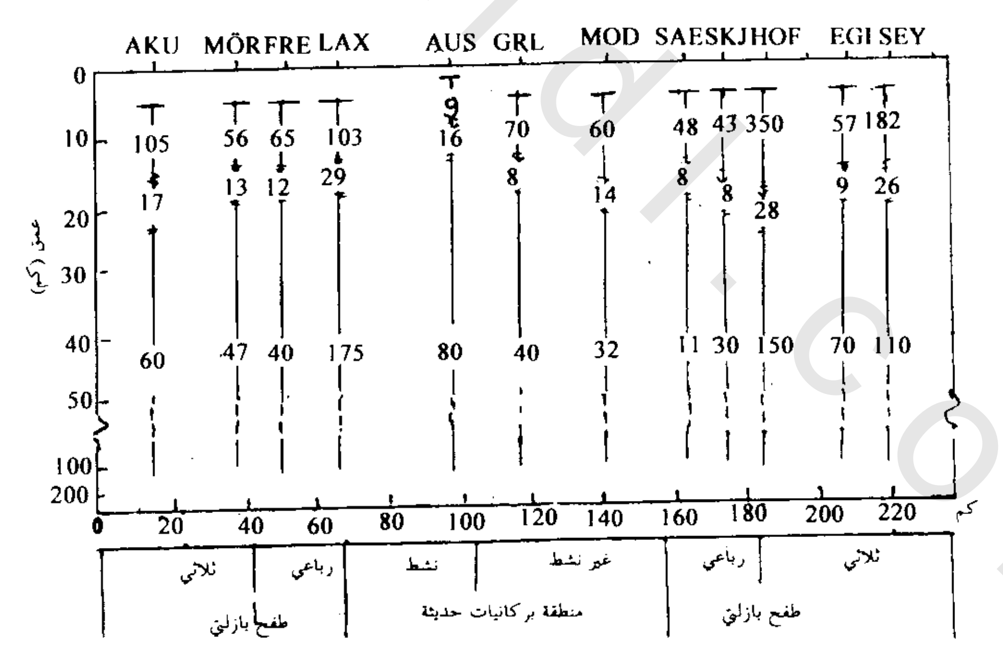
ساد إستخدام طرق للتنقيب عن الحرارة الأرضية فى عدد من المناطق، حيث يمكن إستخدامها بمميزات فى مواقع لايمكن استخدام الطرق الكهربية بها بمفعولية، مثال ذلك، مناطق تكوينات السطوح العالية المقاومة. الميزة الأخرى، والتى لاتمتلك بواسطة طرق التيار المستمر، هى أن العمق المخترق يختلف بواسطة تبدل إشارة التردد بدون تغير هندسة نظام الحقل. أعطى كلر Keller 1971 وكلر ورابولا Keller and Rapella 1974 مراجع تطبيقات طرق الكهربية والكهرومغناطيسية فى إكتشاف الحرارة الأرضية. يمثل شكل (10-16) (شرق وغرب أيسلاند Iceland)، (10-17) (منطقة AFAR الحارة) جس ماجنتوتيليورك (MT) لدراسة تغيرات التوصيلية المسببة بواسطة مصادر حرارية عميقة فى أماكن مختلفة.



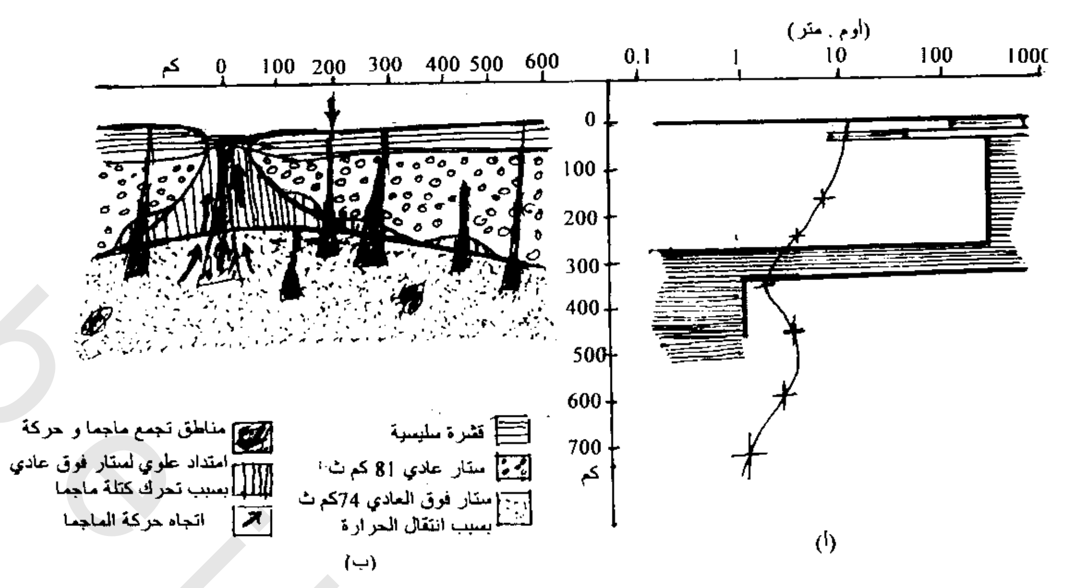
شكل (10-14): بيانات بروفيلات أفقية للمقاومة مع جهد ذاتي (SP)، حث ذاتي (IP) تشير الأسهم إلى حركة البخار والماء، AO أبعاد أقطاب التيار الكهربي، MU أبعاد أقطاب الجهد. AB/2 أبعاد شلبرجير لمنحنيات جس رأسي (زهدى وآخرين (Zohedy et al 1973



شكل (10-15): بروفيلات تدرج حرارى وجهد ذاتى عبر فالق قبى، عين روزفلت الحرة، يوتاوا Roselvelt Hots Spring, Utah، تشير الأسهم للنقط التى عندها خرطت الفوالق بواسطة المساحة الجيولوجية قاطعة خط مسح الجهد الذاتى (كوروين وهوفر Corwin and Hoover 1979)



شكل (10-16): نماذج لثلاث طبقات على طول شرق-غرب بروفيل مجنتيورك (MT) محسوبة من فترة زمنية قصيرة (15 ثانية إلى 1 ساعة) لقياسات مقاومة ظاهرية. تدل المنطقة المهشرة على طبقة منخفضة المقاومة بالقرب من حد القشرة – الستار مقتربة من السطح الداخل فى بركانيات حديثة. تدل الأرقام على المقاومة (أوم متر). (ببلو وبجورنسون (Beblo and Bjornsson 1978



شكل (10-17): أ) توزيع مقاومة-عمق مشتقة بواسطة قياسات ماجنيتو تيليورك (MT) طويلة الفترة. ترى المنطقة المهشرة حدود المقاومات الصغرة والكبرى. للمقارنة، فإن بروفيل مقاومة العمق لمنطقة حرارة هواى Hawaii تدرج كمنحنى مسلسل (منتظم) (لارسن Larsen 1975). ب) نموذج صخرى مقترح بواسطة جاس Gass 1975 للقبة الأفريقية – العربية (أفرو-أرابيان Afro-Arabian) فى أثيوبيا Ethiopia. يشير السهم العلوى على المكان التقريبى لموقع قياس مقابل الأخدود الرئيسى (المركزى) (هاك Haak 1980)

الفصل الحادى عشر

تسجيل الآبار

Well Logging

1.11 مقدمة Introduction:

يمكن الوصول مباشرة للصخور الموجودة تحت سطح الأرض بواسطة الحفر. ويحصل على أحسن العينات بواسطة الحفر اللبى (الجوفى) (core sample)، ولكن هذه الطريقة عالية التكاليف جدا وعمليا فإنها نادرة للأعماق القليلة التى لاتتجاوز عدد قليل من آلاف الأقدام*. وتنتج طرق الحفر الدائرى صخور مفتتة تخرج من الآبار بواسطة سوائل الحفر. وتكون هذه الصخور المفتتة مختلطة ببعضها ومحتوية على سوائل الحفر ولذلك يصعب تفسيرها. والأكثر من هذا فإن هذه القطع المفتتة لاتدل بوضوح عن المسامية والنفاذية لنسيج الصخور المفتتة منها، أو تدل على السوائل الطبيعية الموجودة فى الفراغات الصخرية. لهذا فقد طورت الأجهزة لقياس خواص معينة مباشرة وذلك بعد إنزالها فى ثقب الحفر. وتسجل هذه الأجهزة الخواص المطلوبة أثناء سحبها لأعلى. تسمى هذه العملية تسجيلات القياسات البئرية، والشريط المرسوم عليه القياسات يسمى تسجيل البئر.

2.11 حفر الآبار :Well Drilling

يتم هذا بواسطة الحفر الدائرى أو الحفر الدقاق.

1.2.11 الحفر الدائرى Rotary Drilling:

يوجد نوعين من عينات الصخور التحت سطحية والتى تستخرج بهذه الطريقة تبعا لنوع لقمة الحفر.

i) عينات فتاتية Detch sample: والتى تستخرج بواسطة لقمة حفر لها أسنان دائرية.

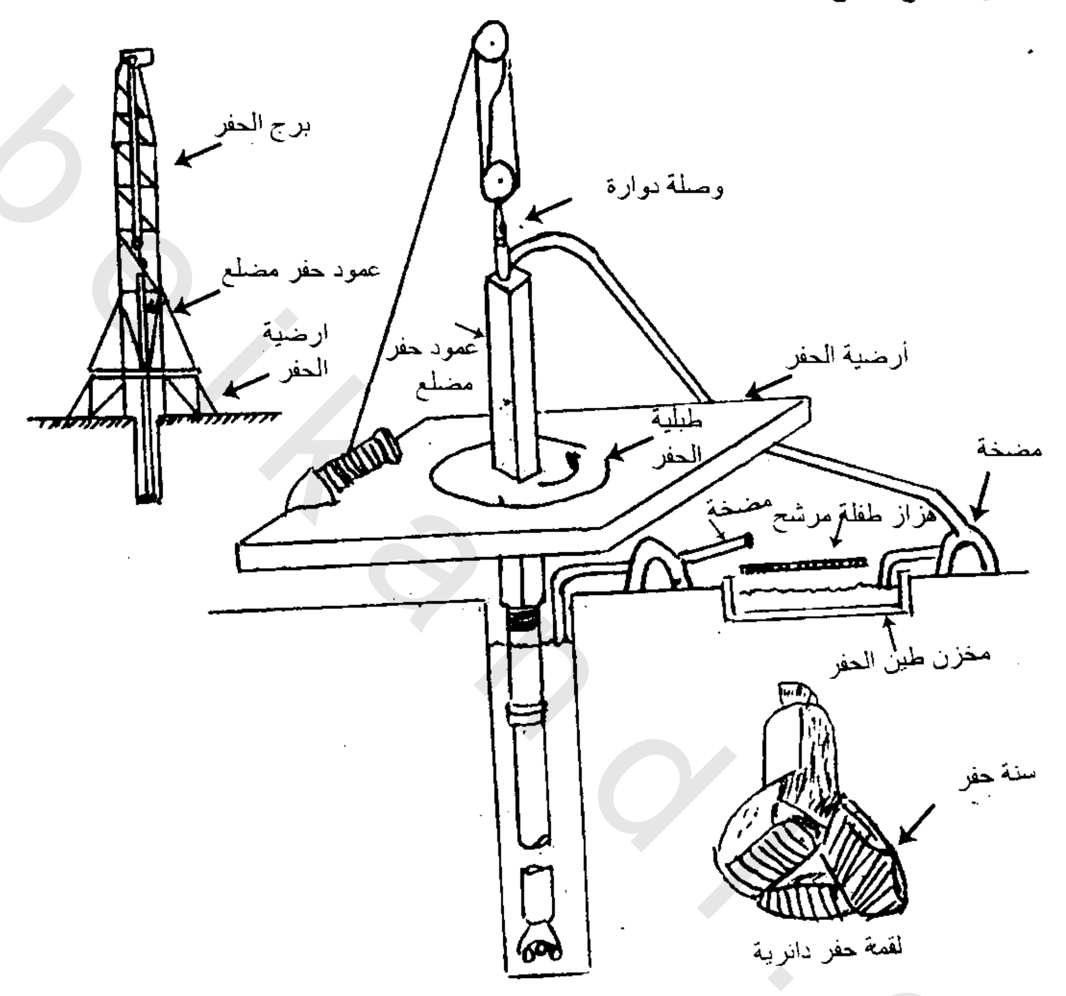
ii) عينات لبية (جوفية core sample) والتى تستخرج بواسطة لقمة حفر أنبوبية مجوفة.

1.1.2.11 الحفر لعينات مفتتة Drilling For Detch Samples:

تستخدم هذه الطريقة للآبار العميقة والضحلة. ويصل العمق بهذه الطريقة لأكثر من 40,000 قدم. ويوضح شكل (11-1) الأجزاء الرئيسية للحفر الدائرى. يتم الحفر بلقمة** مثبتة بنهاية عمود متصل بقضيب مربع أجوف، والمثبت خلال تجويف فى قاعدة دائرية. وتدار القاعدة الدائرية بواسطة آلة تسبب دوران العمود بسرعة أعلى

* تصل بعض أعماق الآبار العميقة لحوالى أكثر من 12 ألف قدم
** قطر لقمة الحفر أكبر من قطر الأنابيب المركبة عليها.

من 300 لفة فى الدقيقة. ونتيجة لذلك فإن الأسنان الموجودة على اللقمة الدائرية تطحن الصخور مسببة حفرة عميقة فى الأرض. وفى نفس الوقت يدفع سائل الحفر* الموجود فى الخزان** لأنابيب عمود الحفر. وينساب هذا السائل خارج أنابيب الحفر من بين أسنان لقمة الحفر ويرتفع فى جوانب البئر حامل الصخور المفتتة عاليا لسطح الأرض وعلى السطح يرشح الفتات الصخرى من سائل الحفر ويعود السائل مرة أخرى لخزان سائل الحفر.



شكل (11-1): أجزاء حفر أساسية للبئر الدائرى. تدير نظام القوة طبلية الحفر، والتى تدير العمود الداخلى لأنبوبة الحفر. تطحن لقمة الحفر صخور قاع الثقب. يضخ طين الحفر لأسفل خلال أنبوبة العمود ،عندئذ ترتفع فى الثقب حاملة الفتات الصخرى للسطح.

وبتعميق البئر تضاف أنابيب دائرية لقطع الأنابيب الدائرة الماسكة للقمة الحفر من نهايتها العلوية والتى تدخل أسفل قاعدة الحفر لإطالة عمود الحفر. وتغير لقمة الحفر عندما تصبح غير صالحة وتسمى هذه العملية (عملية إزالة making a strip)*. ويستخدم سائل الحفر لعدة أغراض:

(i) حمل الصخور المفتتة خارج البئر.

(ii) فى الآبار العميقة يجب أن يكون سائل الحفر لزج ليعلق به الفتات الصخرى لحين خروجه من البئر

(iii) يقوم بعملية تشحيم أنابيب الحفر وتبريد لقمة الحفر

* طين، كلوريد صوديوم، بايرابت، ماء (يسمى هذا طين الحفر mud).

** حفرة بجوار البئر الجارى حفره.

* فى الابار العميقة تستغرق هذه العملية على الأقل عدة ساعات وربما أكثر من يوم.

iv) من أهم وظائفه منع إنسياب السوائل المالئة لفراغات البئر للبئر.

v) منع الإندفاع والتدفق المعاكس الذى يحدث عندما تخترق لقمة الحفر طبقات حاملة لزيت وغاز عالى الضغط.

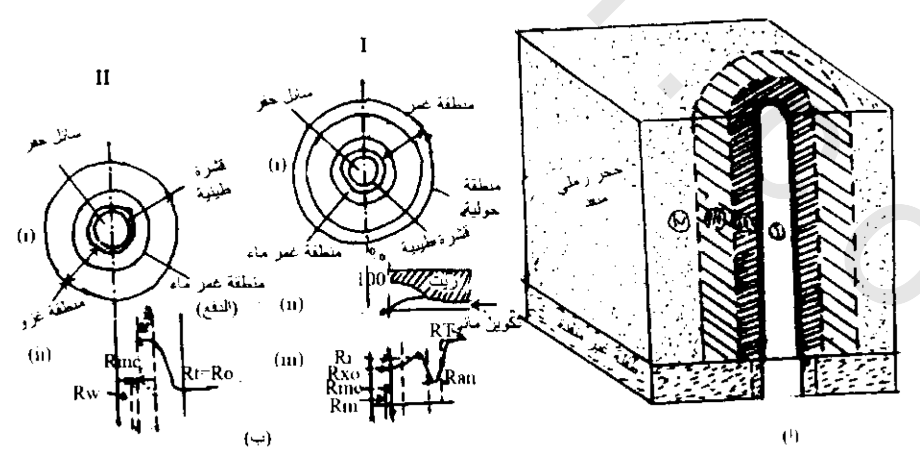
vi) العمل على وجود ضغط معاكس لتأثير صخور سطح البئر والتى تزيد من ضغط المياه الجوفية والزيت والغاز الذى يملأ الفراغات فى الصخر.

vii) العمل على تسليح جدار البئر ويفيد ذلك فى حالة رفع أنابيب عمود الحفر لتغير لقمة الحفر وتمنع بذلك هدم جدار البئر.

النطاق المحيط بالبئر والذى يتسرب إليه سائل الحفر يسمى بمنطقة الإكتساح invasion zone وتركيبها موضح فى شكل (11-2) حيث يبدأ أولا تسرب سائل الحفر للصخور عند جوانب البئر، فإن معظم الجزيئات الإضافية تترشح خارجا مكونة قشرة طينية (mud cake)، وتمر المرشحات الباقية بمكوناتها المذابة للصخور. بالقرب من جدار البئر يحل الترشيح لسائل الحفر تماما محل سائل الفراغات الطبيعية مكونة منطقة الدفع (غمر الماء) flushed zone، وخلفها منطقة حلقة الإكتساح (الغزو) annuus of invasion حيث ينخفض الترشيح نسبيا تدريجيا مع زيادة المسافة من البئر. وكلما تقدم التسرب يزداد بناء الجزيئات الإضافية للغطاء على سطح جدار البئر وبذلك يزيد سمك القشرة الطينية (mud cake) حتى تكون حاجز غير منفذ والذى يمنع اكتساح (غزو) أكثر.

الحفر الدائرى للعينات القلبية (الجوفية) Rotary Drilling For Core Samples:

يوضح شكل (11-3) لقمة الحفر الخاصة للحصول على عينات قلبية (جوفية) وهى أنبوبة مجوفة ومدعمة فى نهايتها بقطع من الماس الصناعى أو أى مادة أخرى شديدة الصلابة. عند دوران لقمة الحفر فإنها تقطع تجويف أنبوبى حول قلب الصخر الصلب والذى يتحرك لحاوية الأنبوبة القلبية لصخور أنبوبة الحفر. عندما تمتلئ الأنبوبة القلبية بالصخر القلبى تسترد بواسطة عملية الإزالة (making a trip)، تكرر عملية الإزالة تباعا لأن طول الأنبوبة القلبية عادة أقل من 20 قدم. يجب أن تتم عملية الحفر هذه ببطء وعناية لتقليل كسر الصخور القلبية. ولهذه الأسباب تكون هذه العملية غالية جدا ولكن تقدم أحسن عينات صخرية.

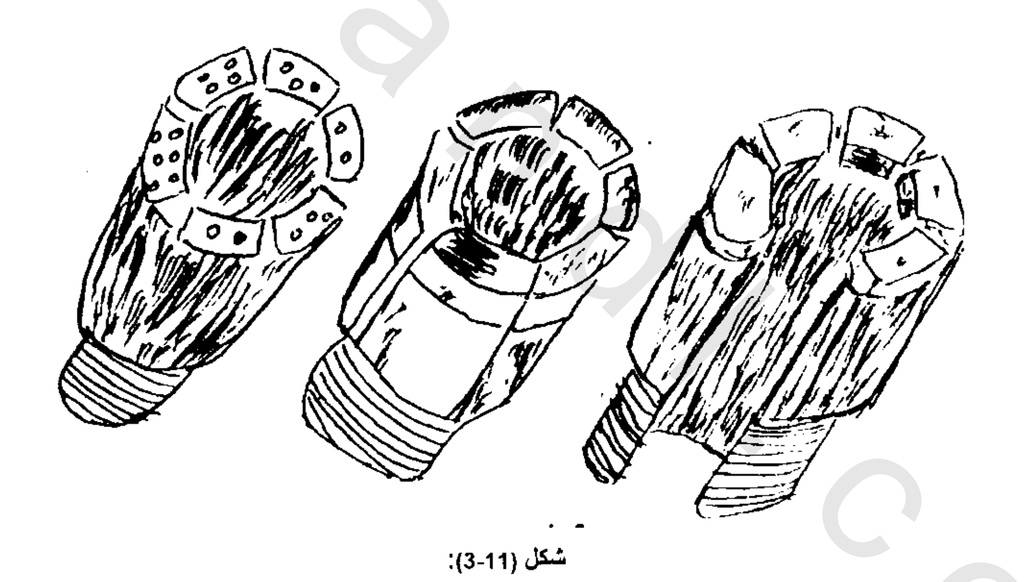


شكل (11-2): أ) تشمل منطقة الغزو (الإكتساح) على i- قشرة طينية ، ii- منطقة غمر الماء، iii- حولية جزء الغزو، iv- التكوين الثابت (غير مضطرب). عند منطقة الغزو أكثر من البئر فى الحجر الجيرى المنفذ أكثر نسبيا من الطفلة الغير منفذة، ب) I) شكل نطاقات الغزو لطبقات حاملة للزيت إلى مستوى تركيب نطاق الغزو وحول محور البئر، ii) مخطط عمق توزيع ترشيح، زيت، تكوين مائى فى نطاق الغزو وحول محور البئر فى الطبيقة، iii) شكل توزيع المقاومة فى نفس الإتجاه. II شكل نطاق الغزو لطبقات حاملة للماء i) مستوى تركيب نطاق الغزو حول محور البئر، ii) شكل توزيع المقاومة فى نطاق الغزو.

2.1.2.11 الحفر الدقى Percussion Drilling:

يشتمل الحفار شكل (11-4) على مطرقة متصلة بكباس يتحرك لأعلى وأسفل فى إسطوانة. يدفع هواء مضغوط لأعلى الحجرة لخفض الكباس لأسفل. فى هذه العملية يتسرب الهواء المضغوط لقاع الحجرة. عندما يدفع الكباس لأسفل بكمية كافية، ينسحب الهواء المضغوط لأعلى الحجرة خلال الفجوات الأنبوبية بجانب الأسطوانة. وعندئذ تنغلق الفجوات الجانبية، سامحة للضغط بالتجمع مرة أخرى أعلى الحجرة. تتكون هذه الدورة عدة مرات كل ثانية.

يسحق الدق السريع للمطرقة - والتى تكون مدعمة بعقد من كربيد التانجستون أو مواد أخرى صلبة – الصخور لتراب دقيق. ويسحب الهواء المتسرب من الحجرة العلوية التراب خارج البئر. وبتقدم الحفر تضاف أطوال من الأنابيب لعمود الحفر. أيضا تبلى المواد الصلبة المثبتة على المطرقة ويكون من الضرورى عملية إزالة make a strip لإحلال لقم الحفر. عادة يكون الحفر الدقى اسرع من الحفر الدائرى، ولكن يصل لعمق بعده لايقدر الهواء المتسرب على إزالة تراب الصخر. كذلك، هذا الحفر محدود بتأثير تسرب المياه الجوفية والتى تعوق إنسياب الهواء وتراب الصخر لأعلى.



شكل (11-3):

3.1.2.11 التغطية Casing:

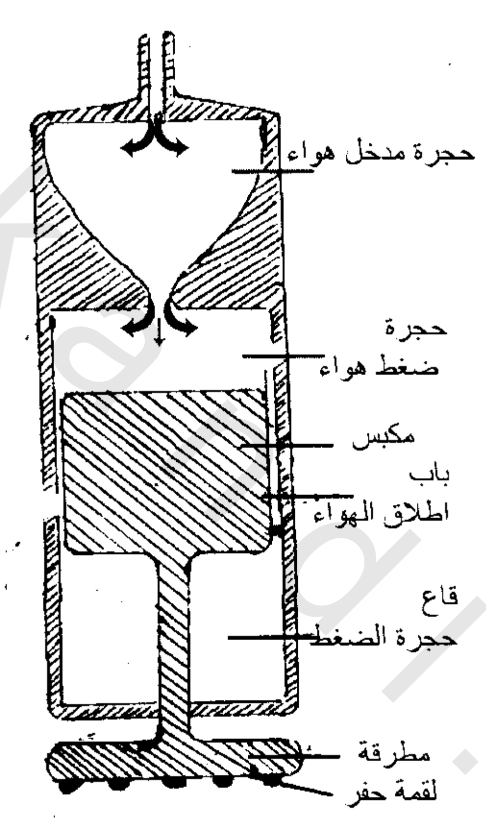
يغطى البئر بواسطة عمود من الأنابيب يسمى تغليفه (casing)، وينزل هذا العمود فى البئر بعد إزالة أنابيب الحفر. عندئذ يضغط السمنت داخل البئر لملأ الفراغات الموجودة بين جدار البئر وأنابيب التغطية لتثبيتها فى مكانها. تمنع هذه العملية إنسياب السوائل الطبيعية بالتكوينات للبئر وكذلك تمنع الصخور المفككة من الإنهيار وسد البئر. بعد إتمام التغطية، يمكن اختيار العمق المعين للسماح للماء أو الزيت والغاز من الطبقات الحاملة له (صخور الخزان (Reservoir rocks) للإنسياب للبئر. أحينا يجب عمل التغطية قبل إتمام حفر البئر مثال لذلك:

i- عندما تغرق المياه الجوفية للبئر لايمكن عمل الحفر الدقاق.

ii- فى الحفر الدائرى مشكلة إنهيار الصخور والفقد الكبير لسائل الحفر فى النطاقات المشتقة تحل بواسطة التغطية.

بعد إتمام التغطية، يعاد الحفر بلقمة حفر صغيرة والتى تمر خلال أنابيب التغطية.

تسبب التغطية بعض المشاكل الهامة لتسجيلات الآبار. فعادة، لايمكن إتمام عملية التسجيلات الكهربية فى بئر مغطى فلزيا. أيضا تشوه التسجيلات الصوتية بشدة. ولكن يمكن إجراء التسجيلات المشعة التى لاتتأثر بهذه التغطية.



شكل (11-4): رسم تخطيطى لمجموعة لقم تستخدم للحفر الدقى، تعمل المطرقة بضغط الهواء والذى يضخ لأسفل خلال عمود أنبوبة الحفر من حجرة مدخل الهواء. الصخور المفتتة تسحب خارجا من الحفرة بواسطة هواء مضغوط متسرب من أبواب إطلاق الهواء

3.11 التسجيلات الجيوفيزيائية Geophysical Logging:

تطورت حاليا الجيوفيزياء التطبيقية فى إتجاهين كبيرين هما:

أ- البحث والتنقيب الجيوفيزيائى.

ب- المسح البترولى والغازى الحقلى (تسجيلات الآبار).

تجرى تسجيلات الآبار بواسطة أجهزة إنزال ورفع لأجهزة كهربية خاصة فى داخل البئر لقياس العوامل الفيزيائية المخلتفة (مثل المقاومة النوعية الظاهرية، الجهد الذاتى والتأثيرى المستقطب للصخور، الشدة الطبيعية والذاتية لإشعاعات جاما، كثافة النيترونات، سرعة الصوت عبر صخور التكوين أثناء الحفر، قطر الثقب للبئر، محتويات غاز لهوب، المحتويات الزيتية والغازية فى الطفلة (الطين) ومكونات أخرى بالإضافة لقياسات سطحية دقيقة.

تسمح تسجيلات الآبار فى حقول الزيت بحل المشاكل الأساسية الآتية:

i- التفريق بين الصخور المختلفة.

ii- التفريق بين حدود الطبقات.

iii- المقارنة وعمل تركيب تحت سطحى متوقع مميز.

iv- تحديد السمك والإمتداد الجانبى للخزانات المختلفة،

v- التميز بين الطبقات الحاملة للزيت والغاز والماء وكذلك تحديد منطقة تماس الزيت والماء.

vi- تقدير المسامية وتشبع الماء.

1.3.11 التسجيلات الكهربية Electric Logging:

التسجيلات الكهربائية طريقة لقياس الجهد الكهربائى الطبيعى والمقاومة فى التكوين المخترق بواسطة البئر. تتم القياسات بواسطة جهاز راصد (sond)* يتحرك فى البئر ومعلق على كابل حفر متصل الأقطاب عليه فى دوائر كهربية مختلفة تبعا لغرض القياس والمصممة لقثاس الجهد الطبيعى والمسمى عامة بالجهد الذاتى (spontaneous potential (sp)) وكذلك لاختبار المقاومة (Resistivity (R)) فى الطبقات المختلفة.

1.1.3.11 تسجيلات آبار الجهد الذاتى Self-Potential Well Logging (SP):

تتكون تسجيلات آبار الجهد الذاتى (SP) من قياس اختلافات الجهد الموجود طبيعيا بين الصخور المخترقة بواسطة حفر البئر. فى تسجيلات (SP) فإن القطب (B) الذى يقيس الجهد يتحرك فى داخل البئر ويستقر القطب المرجعى (A) على السطح شكل (11-5) يكون الجهد ثابت عند القطب المرجعى (المتسقر) ولكن (B) يقيس التغير فى الجهد الذاتى تبعا لنوع الصخور. ويكون الجهد عند (A) اختيارى ولايؤخذ فى الإعتبار عند تفسير الجهد الذاتى (ج ذ). ويعتبر اختلاف الجهد على تسجيل (ج ذ) موجبا من الشمال للجنوب.

من الممكن ملاحظة تحديد خط الأساس التابع لقطاعات الطفلة shale على تسجيلات (SP) لأنواع من الآبار والذى يقع أثره على الجهة اليمنى لتسجيل الجهد (SP) على قيم التسجيل. عامة النقص فى هذا الخط الأساسى تجاه اليسار (سالب) يدل على الطبقات المنفذة مثل الرمل. ويعتمد خواص منحنى (SP) بمقدار كبير على الطفلة والتكوينات المواجهة. من منحنى (SP) يمكن معرفة:

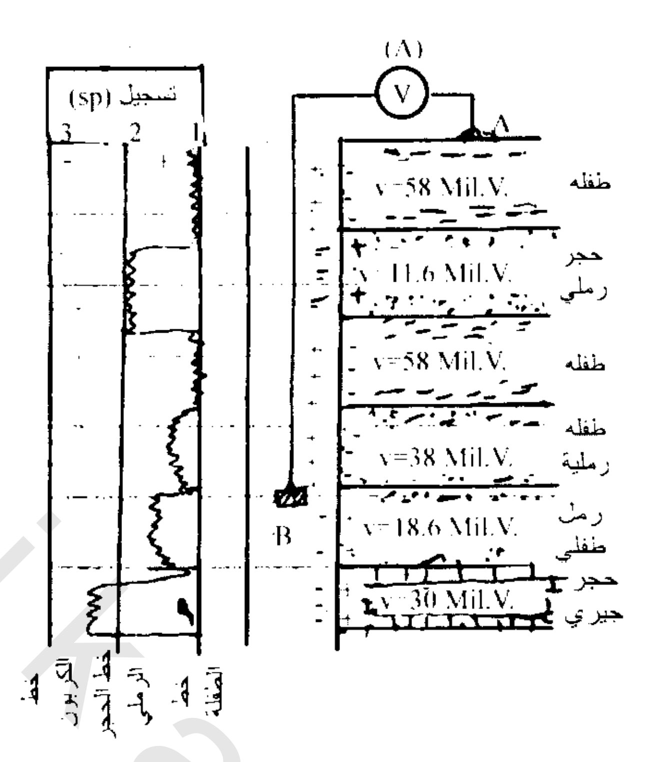
i- إكتشاف الطبقات المنفذة.

ii- تحديد حدود الطبقات (ما عدا فى حالة تكوينات لها مقاومة كبيرة).

iii- الحصول على قيم جيدة لمقاومة التكوينات المائية.

---

* مسبر بمرسمة كهربية



شكل (11-5): نموذج لتغير جهد ذاتى فى تتابع طبقى من الطفلة والحجر الرملى والحجر الجيرى. تحدث نقط التنى على التسجيل بالقرب من حواف الطبقات. 1) خط الطفلة (يحدد القيمة الموجبة)، 2) خط الحجر الرملى (خط الصفر)، 3) خط الكربون (يحدد القيمة السالبة)، 4) جهاز القياس

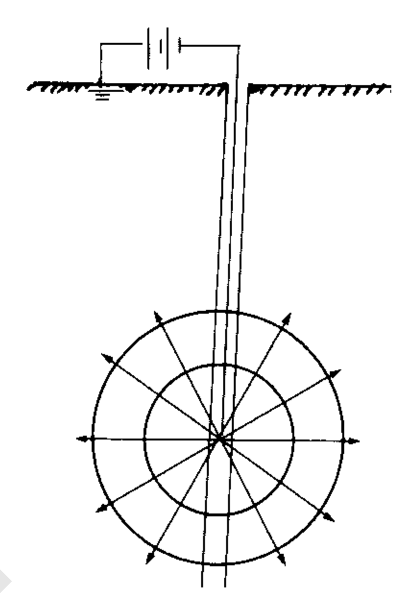
2.1.3.11 تسجيلات المقاومة Resistivity Logs:

قبل دراسة هذه الطرق يجب معرفة الأساسيات للصيغات الخاصة لقانون اوم. وحيث أن تسجيل المقاومة هو قانون أوم، فإن صيغة معادلة قانون أوم والمستخدم فى تحليل قياسات المقاومة على سطح الأرض.

$$\Delta V = \frac{IR}{2\pi}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) \qquad (11\text{-}1)$$

حيث ΔV = الجهد، I = شدة التيار، R = المقاومة، d_1، d_2 = المسافات

وتستخدم هذه الصيغة أيضا فى قياسات الآبار، ولكن يوجد فى هذه الحالة اختلاف حيث توضع الأقطاب تحت سطح الأرض. لذلك ينتشر التيار خلال أغلفة مركزية كروية شكل (11-6) مختلفة بذلك نوعا ما عن الأغلفة النصف دائرية للقياس على الأرض. ولأن مساحة سطح الكرة لنصف قطر (r) يكون $2\pi r^2$ فإن معامل ٢ ط فى المعادلة السابقة (1) يجب تغيره إلى 4π فى المعادلة المستخدمة فى تحليل قياسات المقاومة المقاسة فى الآبار . عندئذ يصبح قانون أوم



شكل (11-6): اشعة كروية لتيار كهربى خارجى داخل فى تكوين متجانس من مصدر قطب واقع تحت الأرض بعيدا عن القطب الغاطس على سطح الأرض

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}\right) \qquad (11-2)$$

حيث V_{MN} التغير فى الجهد بين القطبين M، N،

I شدة التيار المنساب بين قطبى المصدر A، B،

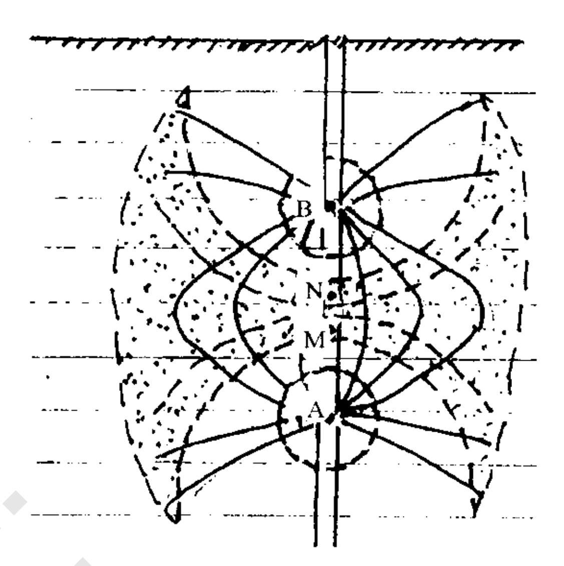
R مقاومة المادة المطمور فيها الأقطاب،

MA، NA، MB، NB المسافات بين الأقطاب شكل (11-7)

ويمكن التعبير عن قانون أوم فى صيغ تبعا للترتيب الخاص للأقطاب.

أ- فى هذا الترتيب يكون القطبين A، M قريبين من بعضهما فى داخل البئر، وكلا من القطبين N,B يوضعا بعيدين على السطح. ولأن NA يكون كبير جدا فإن العبارة $\frac{1}{NA}$ تكون صغيرة صغرا كافيا للإهمال ويمكن تعديل المعادلة السابقة لنحصل على النطاق المختبر بواسطة هذا الترتيب القطبى يكون سميك الأغلفة بنصف

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi AM} \qquad (3)$$



شكل (11-7): توضح أشعة التيار (خطوط متصلة) وخطوط تساوى الجهد (خطوط متقطعة) إنسياب التيار والمجال الكهربى بين أقطاب مصدر التيار A، B الموضوع تحت الأرض فى تكوين متجانس. ويقاس اختلاف الجهد بين القطبين الآخرين M، N والذى يتأثر بواسطة المادة فى المنطقة المظللة بين أسطح تساوى الجهد على موقع القطبين M، N

قطر داخلى AM ونصف قطر خارجى كبير جدا شكل (11-8) وربما يحدث أغلب التغير فى الجهد فى أغلب الجزء الداخلى لهذا الغلاف ويعتمد هذا التغير فى الجهد على موقع القطب N وتوضح الأمثلة التالية هذا التغير.

وهذا يدل على أن نصف التغير فى الجهد المستنتج من المعادلة (11-4) يحدث خلال المسافة AM 2 من أقطاب المصدر.

ii) إذا وضع القطب عند مسافة AN = 10 AM

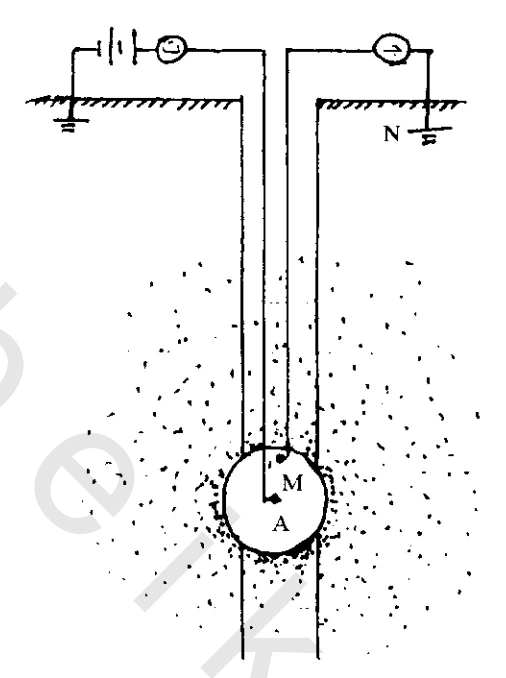
فى هذه الحالة فان بعض التحاليل يدل على ان 90% من التغير فى الجهد المستنتج من المعادلة (11-3) يحدث خلال المسافة 10 AM من أقطاب المصدر.

i) إذا وضع القطب N عند مسافة NA = 2AM.

فى هذه الحالة يمكن الحصول على نصف قيمة VMN تبعا للمعادلة (11-3) حيث

$$V_{MN} = 1/2\ IR/4\pi\ AM \qquad (11\text{-}4)$$

عندئذ يتضح أنه حتى عند وضع القطب N بعيدا عن القطبين A، M فإن القياسات تكون أقوى تأثيرا بواسطة الصخور فى غلاف كروى رفيع تقريبا بنصف قطر داخلى MA. يوضح شكل (11-8) التدرج الظلى وكيف أن تأثير الصخور داخل هذا النطاق يضمحل مع المسافة منتساوى الجهد الداخلى.



شكل (11-8): ترتيب أقطاب والتى فيها يقع القطب (B) بعيدا عن قطب الغطس A وهما أقطاب المصدر الكهربى. ويقاس اختلاف الجهد (V) بين القطب (M) القريب من القطب (A) والقطب (N) الموضوع بعيدا عن (M). يتأثر فرق الجهد (V) بالمادة فى الغلاف الكروى لنصف القطر الداخلى MA ونصف القطر الخارجى NA ولكن المادة القريبة من (M) لها تأثير أكبر من المادة الأبعد من (M) والموضحة بالتدرج الظلى

II- فى هذا الترتيب، القطب (B) أحد أقطاب المصدر، يوضع على الأرض والقطب الآخر للمصدر (A) يدخل فى البئر مع قطبين القياس (M، N) واللذان يقيسان التغير فى الجهد شكل (11-9)

هذا الترتيب شائع عمليا فى التسجيلات الكهربية. وحيث ان هذا التطبيق يجعل المسافتين MB، NB كبيرة جدا فتصبح بذلك العبارتين I/BM، 1/BN صغيرتين جدا ويمكن اهمالهما ويمكن تعديل المعادلة للصورة الآتية

$$V_{MN} = \frac{IR}{4\pi}\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN}\right) \qquad (11\text{-}5)$$

فى هذا الترتيب يقع القطبين N، M تقريبا على سطوح كروية متساوية الجهد مركزها القطب A. وعلى ذلك فإن النطاق المختبر عبارة عن غلاف كروى نصف قطره الداخلى AM. ونصف قطره الخارجى AN شكل (11-9).

1.2.1.3.11 التسجيل العادى Normal Logs:

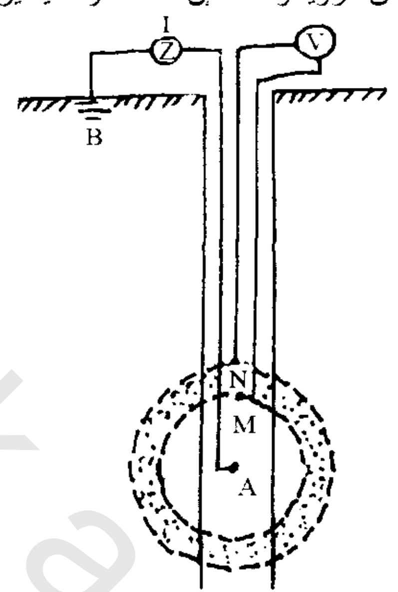
من أكثر الطرق المستخدمة إنتشارا لقياس المقاومة الكهربية. ويوضح شكل (11-10) شكل توزيع الأقطاب، حيث يوضع كلا من القطبين A. مصدر التيار)، M (قياس الجهد) على الراصد (Sonde)* ويوضح الآخر للمصدر الكهربى B والقطب الآخر لقياس الجهد (N) على الأرض بعيدا عن الراصد الموجود داخل البئر. يرسل قطبى المصدر A، B تيار ثابت (I) ويقاس التغير فى الجهد. V_{MN} باستمرار بمقياس جهد (فولتاميتر) متصل بين M & N. يسجل مخارج الفولتاميتر على مخطط استخلاص (strip chart) للتسجيل العادى، طالما يتحرك الراصد فى البئر، فإنه يمكن تعيين (R) بواسطة إعادة ترتيب المعادلة (11-3) للصيغة الآتية

$$R = \frac{4\pi AM}{I} V_{MN} \quad \text{(ohm/m or ohm/ft)} \qquad (11\text{-}6)$$

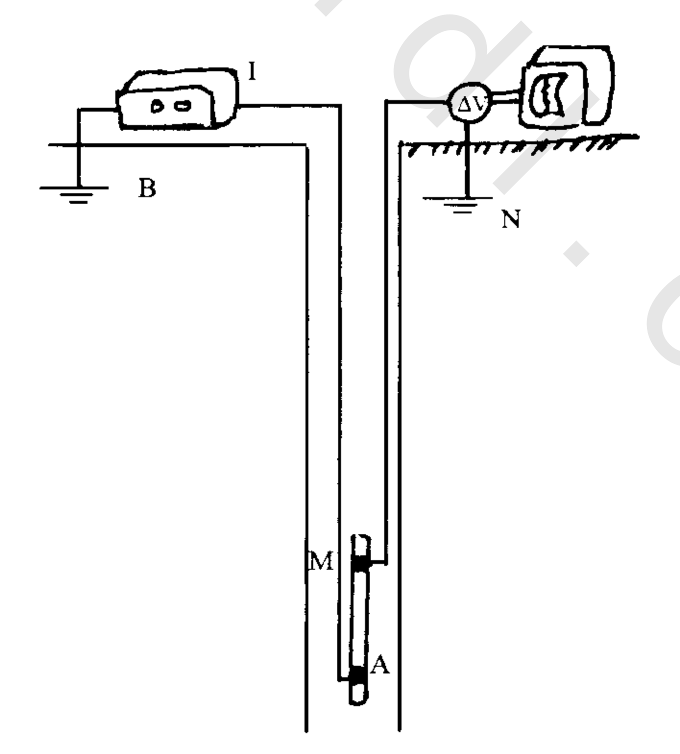
من هذه المعادلة يلاحظ أن المقاومة R تتغير مباشرة مع V_M لأن المسافة بين القطبين A، M على مسافة من الراصد كما أن I ثابتة.

* فى صناعة البترول، يوجد نوعين للراصد تبعا للمسافة AM.
أ) تسجيل عادى قصير (مسافة AM =16 بوصة)
ب) تسجيل عادى طويل (مسافة AM = 64 بوصة)

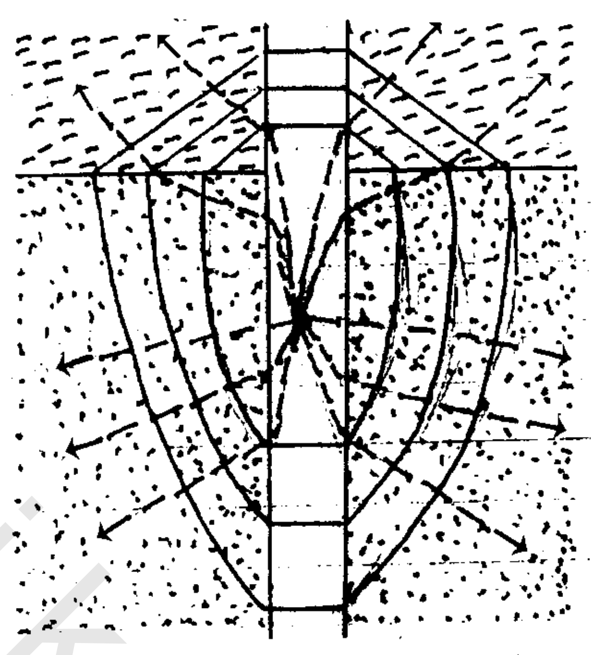
حيث أن هذا الطين له أيضا مقاومة أخرى. يوضح شكل (11-11) إنسياب أشعة التيار المنكسرة لاتجاهات مختلفة عند كل حد حيث تتغير المقاومة ويرى أيضا أن سطوح تساوى الجهد والتى تكون عمودية على شدة الأشعة الكهربية مشوهة لشكل شبه كروى، ولأن هذه السطوح المتساوية الجهد تدل على شكل النطاق المختبر، فإن يتضح أن هذا النطاق لايكون متناسق كرويا ولذلك فإن شكله سوف يتغير بتحرك الراصد خلال البئر.



شكل (11-9): ترتيب الأقطاب التى فيها قطب المصدر (A) يقع بعيدا عن القطب الغاطس ب. ويقاس فرق الجهد (V) بالقرب من القطب (A) وبعيدا عن القطب (B) تتأثر قيمة الجهد (V) بواسطة جميع المواد فى الغلاف الكروى والذى له نصف قطر داخلى MA ونصف قطر خارجى NA



شكل (11-10): رسم تخطيطى لدائرة تسجيل عادى. يبعد قطب المصدر (A) عن قطب الغطس (B) وكذلك يبعد القطب (M) عن القطب (N) ويقاس فرق الجهد V_M بين (M)، (N)



شكل (11-11): إنكسار أشعة التيار على جانب البئر وعلى الحافة بين مكونين لمقاومات مختلفة

يجب إختبار النطاقات المتغيرة خلال التكوين المتجانس السميك عند تحرك راصد التسجيل العادى بها. ولكن هذا التسجيل لايعمل فى البيئات المتجانسة. لذلك يجب أن يشمل اختبار النطاق طبقات متفاوتة المقاومة ،ويجب أيضا عمل الراصد فى حقل البئر بطين الحفر

يوضح شكل (11-12) كيف أن المقاومة الظاهرية تتغير طالما يتحرك الراصد خلال البئر، ويدل أيضا على عدم وجود تغير مفاجئ فى المقاومة طالما الراصد يمر خلال حدود الطبقات والكن يوجد تغير تدريجى. هذا، لأن الأقطاب A، M تضع علامات لنصف القطر الداخلى للنطاق المختبر والتى تصل خلف أبعاد الراصد. لذلك يتحرك نطاق الإختبار خلال حد الطبقة قبل مرور حقيقى للراصد لهذا الحد. بناءا على ذلك، فإن الطبقة القريبة تؤثر على قياس المقاومة الظاهرية، حتى إذا تحرك الراصد خلال طبقة أخرى. من شكل (11-12) يمكن ملاحظة الآتى:

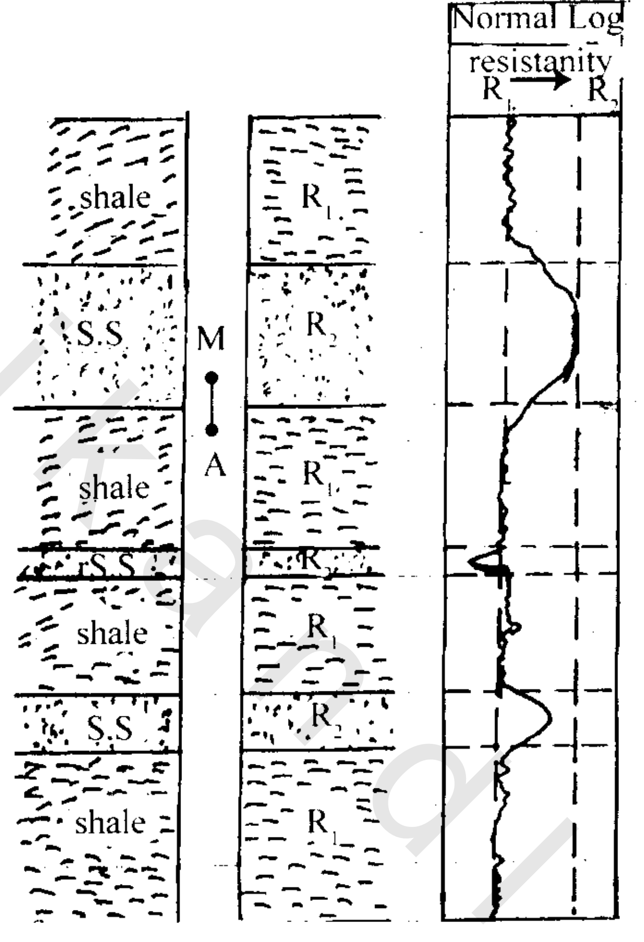
i) قياس المقاومة الظاهرية بالراصد قريبا من منتصف الطبقة السميكة تأتى قريبة من المقاومة الحقيقية (R_t) للتكوين حيث تشغل الطبقة أغلب نطاق الإختبار.

ii) عند الطبقات التى سمكها أقل من AM فإن التغير فى المقاومة الظاهرية بالقرب من هذه الطبقة يزيد فى حدودها العلوية والسفلية. ويوجد عند المنتصف مقاومة ظاهرية قليلة. وينتج من هذا التشويه إنكسارات أشعة التيار، والتى تحدث عند نزول القطب A لأسفل الطبقة ويبقى القطب M فوقها.

iii) يؤثر غزو طين الحفر على قياس المقاومة الظاهرية. لذلك فإن المقاومة فى نطاق الغزو ستختلف عن المقاومة الحقيقية. (R_t)*. وإذا قيست المقاومة الظاهرية بالقرب من منتصف الطبقة السميكة عندما يكون الغزو عميق فإنها ستبقى مختلفة عن مقاومة التكوين الحقيقى. ويزيد تاثير الغزو مقاومة طبقة الغزو (R_i)

* تستخدم المقاومة الحقيقية لحساب المسامية والتشبع ونفاذية التكوين

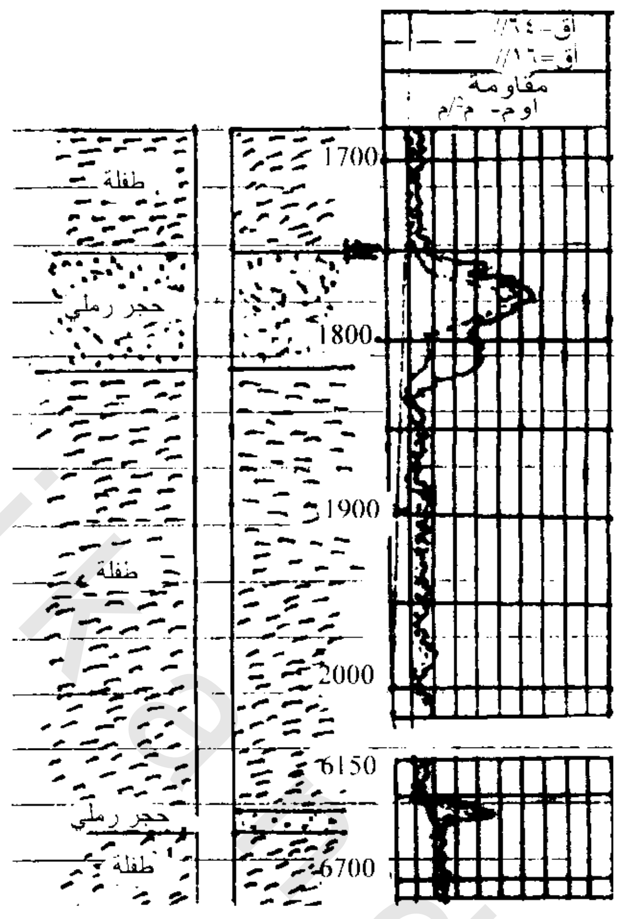
وتكون مقاومتها أكبر من المقاومة الحقيقية (R_t). وتكون المقاومة الظاهرية فى حالة التسجيل العادى القصير أكبر منها فى حالة التسجيل العادى الطويل هذا الإختلاف يتضح فى شكل (11-13) حيث يدل كلا من التسجيلين القصير والطويل على مقاومة كبيرة للطبقة بين عمق 1750-1820 قدم**.



شكل (11-12): تغير نموذجى لتسجيل عادى عند حواف بين طبقات مختلفة السمك والمقاومة. ربما يدل الاختلاف بين المقاومة المنخفضة والعالية على طبقات تعتبر أكبر سمكا من المسافة بين القطبين A، M. أما بالنسبة للطبقات الرفيعة، فإن منحنى الإستجابة يكون معكوس والذى يعطى دلالة على عدم صحة فروق المقاومة

حتى إذا كان التسجيل العادى القصير أكثر تأثيرا مخالفا لطبقة الغزو، فإنه نافع لإكتشاف الطبقة الرفيعة والتى تمثل بصورة غير صحيحة على التسجيل العادى الطويل. بمقارنة التسجيلين فى شكل (11-13) بالقرب من 6677 قدم، من المحتمل أن يكون التسجيل العادى القصير عندها دالا على وجود طبقة ذات كثافة عالية والتى يجب أن تكون بين سمك قدره 16، 64 بوصة.

** يمكن مقارنة المقاومة الظاهرية استرشادا بهذه التسجيلات من لوحات التصحيح العيارية والتى تستخدم لاستنتاج الأسماك المختلفة ، تباين المقاوم، عمق طبقة الغزو.



شكل (11-13): قياس تأثير الغزو على المقاومة الظاهرية بأجهزة قياس عادية 16 بوصة، 64 بوصة. الـ 16 بوصة يكون أقوى تأثير بواسطة المقاومة العالية لنطاق الغزو فى طبقات الحجر الرملى السميك. ومن المحتمل عدم اكتشاف طبقة الحجر الرملى القريب من 6680 قدم بواسطة التسجيل العادى 16 بوصة

2.2.1.3.11 التسجيل الجانبى* .The Lateral Log:

هذه طريقة أخرى لقياس المقاومة، ويوضح شكل (11-14) ترتيب الأقطاب بها. توضع الأقطاب ق، ر قريب كل منهما للأخر على الراصد** وتقع النقطة (0) بينهم. ويكون القطب A*** بعيدا عنهم فى البئر، والقطب B موضوع على بعد منهم على سطح الأرض.

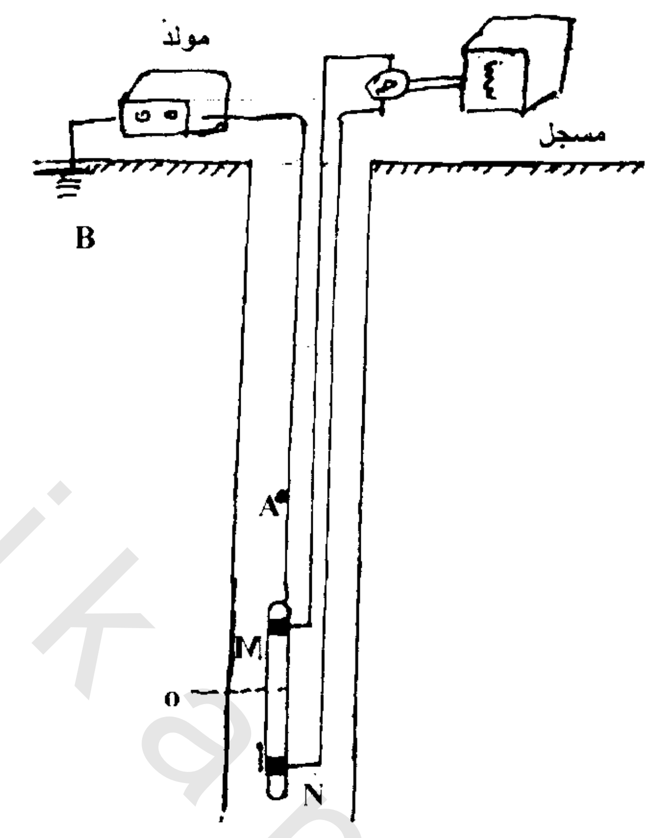
يتم التسجيل بهذه الطريقة بمد تيار ثابت I من مولد متصل بين A، B. ويقاس فرق الجهد V_{MN} باستمرار بمقياس جهد (فولتاميتر) متصل بين M، N طالما يتحرك الراصد خلال البئر. ولأن المسافة بين A، M، N. تبقى ثابتة، فإن الإختلاف الجهدى يتغير فى إتجاه يتناسب مع المقاومة تبعا للمعادلة (11-3) يحصل على التسجيل الجانبى بواسطة تسجيل مخرج الجهد على لوحة المخطط (strip chart) مقيس بوحدات المقاومة.

---

* غالبا مايعمل التسجيل الجانبى بالإتحاد مع التسجيل العادى أو أنواع أخرى من التسجيلات الكهربية.

** فى صناعة البترول تبعد الأقطاب M ، N عادة بمقدار 52 بوصة.

*** القطب A مركب على كابل الحفر فوق الراصد بمسافة 18 قدم.



شكل (11-14): شكل تخطيطى لدائرة تسجيل جانبى. يوضع القطبين M، N بالقرب من قطب المصدرA ولكن يبقى بيعيدين من القطب الغاطس B

فى التكوين المتجانس السميك جدا فإن نطاق المقاومة يمثل كغلاف كروى بنصف قطر داخلى AM ونصف قطر خاردى NA شكل (11-9)، بينما، فى بينة مكونة من طبقات متباينة المقاومة فإن نطاق المعيار يشوه إلى غلاف شبه كروى بسبب إنكسارات الأشعة التيارية شكل (11-11). بملاحظة هذا التشوه يصل نطاق المعيار بواسطة التسجيل الجانبى لنتائج جيدة أكثر من التسجيل العادى. لهذا السبب، فإن النسبة الكبرى من النطاق الجانبى تشغل التكوين الغير ملوث بالغزو. لذلك، فإن المقاومة الظاهرية فى الطبقة السميكة المقاسة بواسطة التسجيل الجانبى تميل للقرب من (R_t)، وتكون أكبر من القيمة الناتجة من التسجيل العادى.

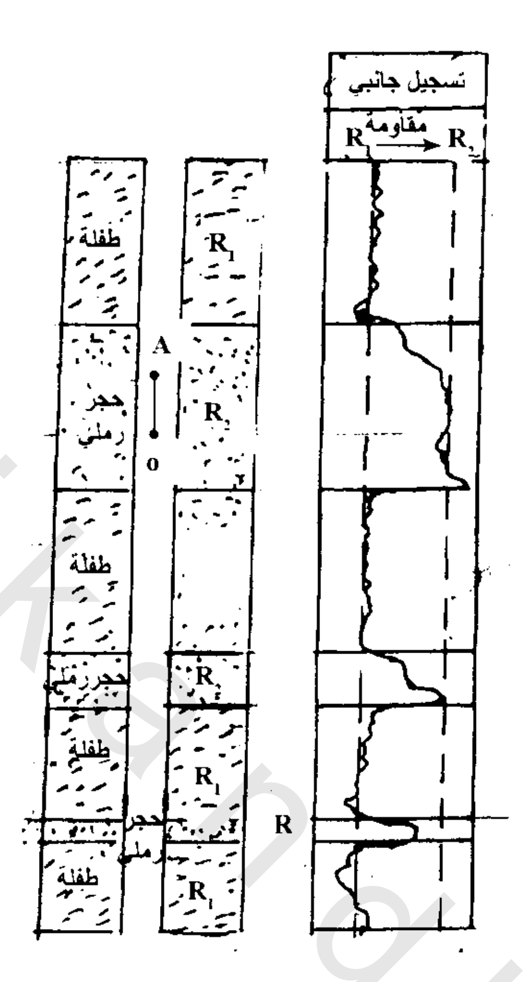
فى التسجيل الجانبى تتغير المقاومة الظاهرية تغير خاص بالقرب من حدود الطبقة. ويتعلق هذا التشوه بانكسارات اشعة التيار والتى تحدث حيث تتحرك الأقطاب M، N خلال الطبقة الواحدة بينما القطب A مازال يتحرك خلال الطبقة الفوقية. ينتج هذا الإنكسار ظواهر نموذجية للتسجيل الأفقى الموضحة فى شكل (11-15).

مميزات التسجيل الأفقى بالمقارنة بالتسجيل العادى هى:

i- أكثر دقة لقياس المقاومة الحقيقية R_t والموجودة فى الجزء الأوسط من الطبقات السميكة.

ii- دلالة أكثر حدة للحد السفلى للطبقة.

iii- دلالة تماثل حاد للحد العلوى للطبقة إذا وضع القطب A تحت M ، N.



شكل (11-15): تغير نموذجى لتسجيل أفقى بين حواف طبقات لأسماك ومقاومات مختلفة. يقاس التاثير الغير حقيقى بالقرب من حواف الطبقات وعند مسافة أسفل الطبقة الرفيعة وهذه المسافة تساوى مسافة OA

iv- إمكانية الغزو العميق من إنتاج بعض التشويه فى قراءة المقاومة ولكن أقل من التسجيل العادى.

v- ممكن تتقدير تصحيح تأثير الغزو من لوحات معايرة كما فى التسجيل العادى بواسطة التحليلات.

التغير فى المقاومة الزائفة (غير حقيقية) المسجلة أسفل الطبقة الرفيعة من الخواص الهامة الغير مميزة للتسجيل.

3.2.1.3.11 مقياس مقاومية الحفر .The Laterolog:

الطرق السابقة لاتأخذ فى الإعتبار تحكم إتجاه إنسياب التيار. لذلك فى هذه الطريقة، تصمم الدوائر الكهربية لتركيز التيار فى طرق معينة لكى يمر فى الواح أفقية خارجة من البئر. يوضح شكل (11-16) واحد من هذه

الأجهزة. يتكون الراصد من قطب قصير بمركزه* بين قطبين طويلين تسمى أقطاب وقاية والتى تتصل ببعضها**.

يتحكم فى إنتشار التيار بقطبى الحماية ويضبط قطب المركز أتوماتيكيا لحفظ كلا من هذين القطبين عند جهد ثابت. عندئذ يكون من المستحيل للتيار الإنسياب من أى قطب فى إتجاه الآخر. لذلك فإن التيار الخارج من قطب المركز يتحرك خارجا فى لوح أفقى. وحيث أن الجهد ثابت، فإن كمية التيار من قطب المركز تتغير نسبيا مع مقاومة التكوين الذى ينساب فيها. يسجل هذا التيار بيانيا على مخطط استخلاص (strip chart) مقاس بوحدات المقاومة للحصول على مقياس مقاومية الحفر. يكون شكل النطاق المختبر بواسطة مقياس مقاومية الحفر عبارة عن قرص دائرى بسمك يساوى تقريبا طول القطب المركزى شكل (11-17) فى هذا النطاق، يكون للصخور القريبة من البئر تأثيرا كبيرا على قياس المقاومة ويتلاشى تاثير الصخور البعيدة من البئر لإنتشار الأشعة بعيدا.

مميزات مقياس مقاومية الحفر:

i- أكثر حساسية للطبقات الرفيعة.

ii- بواسطته يمكن نسبيا إكتشاف طبقة أرفع من طول القطب المركزى.

iii- إذا كان تأثير الغزو صغير، فإن قراءة المقاومة الظاهرية من مقياس مقاومية الحفر يقترب من المقاومة الحقيقية R_t.

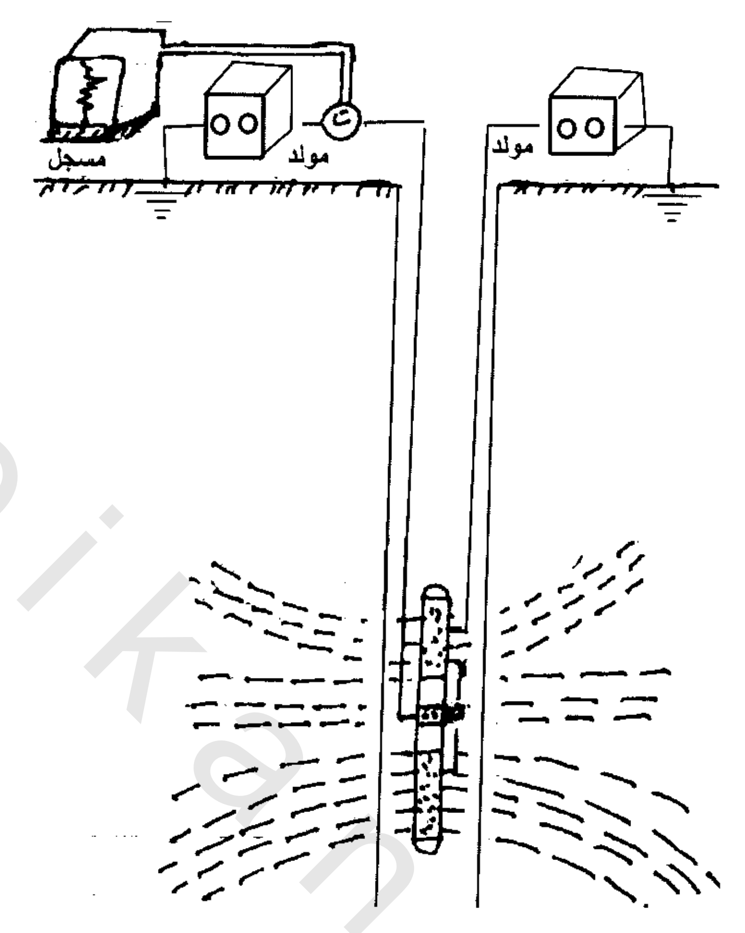
iv- ينتج تشويه معين من الغزو العميق.

من عيوب هذه الطريقة، عندما يقترب نطاق الغزو من البئر فإن تأثيرها على مقياس مقاومية الحفر يكون أكبر نسبيا من تسجيلات الكهربية غير المركزة.

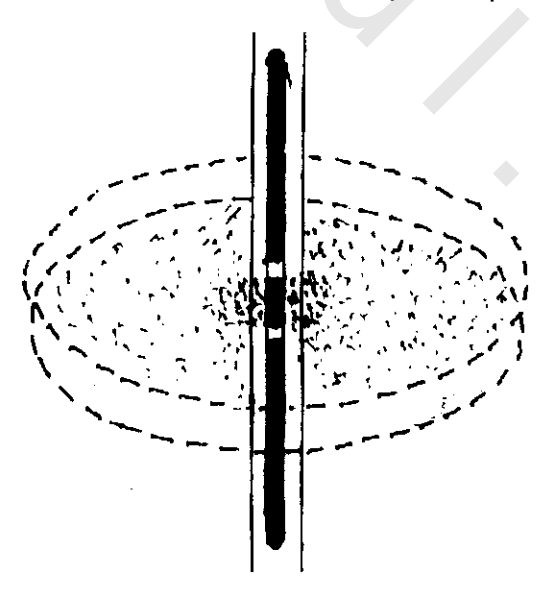
يمكن تحديد تصحيح نطاق الغزو من لوحات معايرة، وذلك إذا كان عمق الغزو لايعتمد فى تعيينه من التسجيلات العادية والجانبية.

* طول هذا القطب يتراوح من 3 بوصات لأكثر من قدم.

** طول الثلاثة أقطاب أكثر من 5 أقدام.



شكل (11-16): رسم تخطيطى لدائرة مقاومية.تعمل أقطاب الحماية العلوية والسفلية على تثبيت نفس الجهد لكى تعمل تيار تقريبا أفقى (خطوط غير متصلة) تنساب فى إتجاه خارجى من مركز مصدر القطب



شكل (11-17): يكون النطاق المختبر بواسطة مقياس مقاومية الحفر عبارة عن قرص دائرى بسمك ياسوى طول قطب المركز. المواد القريبة من البئر يكون لها تأثير قوى على قياس المقاومة. يضمحل التأثير تدريجيا كلما بعد عن البئر كما هو موضح بالتدرج الظلى

4.2.1.3.11 قياس الحثية Induction Logging:

إنتشرت هذه الطريقة للعمل فى آبار مملوءة بسوائل غير موصلة. يتكون الجهاز من ملفات موضوعة على الراصد حيث يستخدم الحث الكهرومغناطيسى الناتج من هذه الملفات لإنتاج تيار يدخل التكوين، ولقياس تأثيره يوجد نوعين من القياس الحثى:

أ) تسجيل الحث الغير مركز (شكل (11-18) Unfocused Induction Logging:

التكوين والعمل:

i- ملفين على الراصد أحدهما يبعث التيار والآخر يستقبله.

ii- ينتج المولد تيار متردد فى ملف الإنبعاث.

iii- يولد التيار المتردد مجال مغناطيسى متردد فى المنطقة المحيطة بالملف والتى تصل للتكوين.

iv- يلزم الحث الكهرومغناطيسى المصاحب لهذا المجال إنسياب التيار خلال التكوين فى طرق دائرية مركزة على البئر.

v- يخلق التيار الأرضى المتردد مجال مغناطيسى ثانوى والذى يلزم التيار للإنسياب فى ملف الإستقبال مرة ثانية بواسطة الحث الكهرومغناطيسى

vi- تغير شدة التيار الأرضى مع المقاومة يعمل على توليد شدة مجال مغناطيسى ثانوى وتيار حثى على ملف الإستقبال.

vii- يسجل التيار الحثى فى ملف الإستقبال على مخطط استخلاص strip chart للحصول على تسجيل حثى غير مركز.

ب) تسجيل الحث المركز Focused Induction Logging:

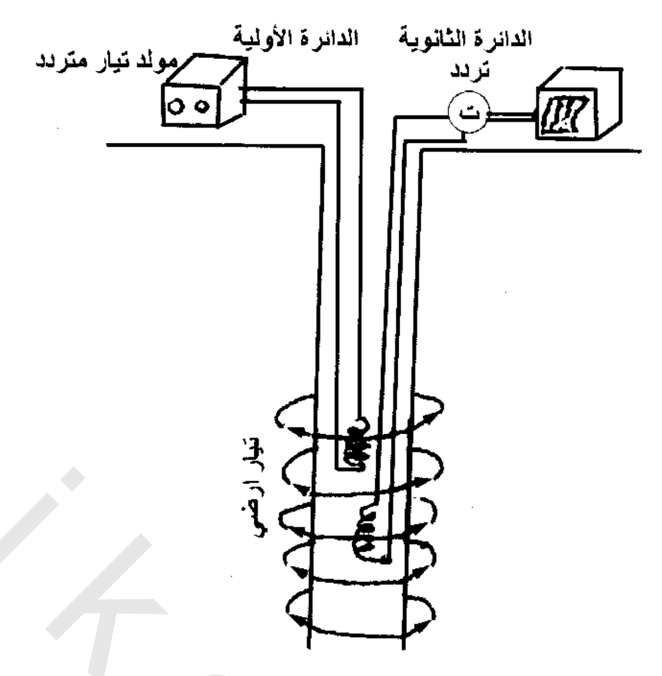
التكوين والعمل (شكل 11-19):

i- ملف إضافى متسلسل مع ملف الإنبعاث الأصلى ويوضع بالقرب من ملف الإستقبال الأصلى.

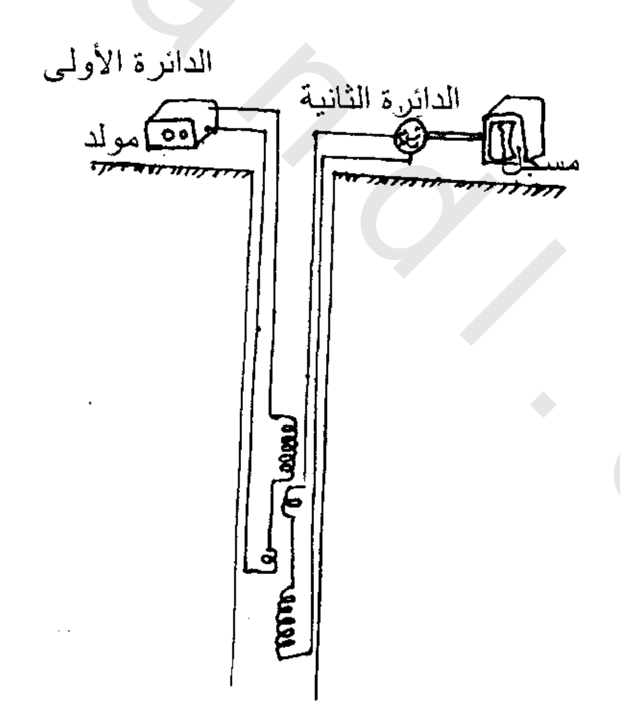
ii- ملف إضافى آخر متسلسل مع ملف الإستقبال ويكون قريبا من ملف الإنبعاث الأصلى.

iii- تشغيله يكون بنفس تشغيل تسجيل الحث الغير مركز.

يوضح شكل (11-20) تسجيلات الحث الغير مركز والحث المركز حيث يفسر التغير التدريجى فى المقاومة الظاهرية طالما الراصد يمر بالحد بين طبقتين متباينتين المقاومة فى طبقة سميكة طول الراصد فيها أكثر من ثلاث مرات مسافة الملف من كلا الحد العلوى والسفلى، وتقترب قياس المقاومة الظاهرية من المقاومة الحقيقية R_t إذا لم تشوه النتائج بواسطة الغزو. يرى شكل (11-20أ) أن نقطة الإنقلاب على تسجيل المقاومة الحية تقع بالقرب من حدود الطبقة، هذه الطبقات من الصعب تحديدها.



شكل (11-18): دائرة تسجيل حثى غير مركز



شكل (11-19): رسم تخطيطى لدائرة تسجيل حثى مركزمكون من أربع ملفات.كلا من الدائرة الأولى والثانية تحتوى على ملفات. الملف الثانوى الصغير يوضع بالقرب من الملف الأول الكبير والملف الأول الصغير يوضع بالقرب من الملف الثانوى الكبير

ويمكن الحصول على دلالة حادة لحدود الطبقة بواسطة تسجيل الحث المركز شكل (11-20ب) ولكن تنتج ذبذبة زائفة فى المقاومة الظاهرية. هذه الذبذبات ممكن إخمادها (إيقافها) بواسطة ترتيب لملفات التركيز فى أكثر من دوائر معقدة.

ويمكن تحديد تصحيح تأثير الغزو من لوحات معايرة، ولكن يتطلب ذلك معلومات إضافية والتى يمكن الحصول عليها من أنواع أخرى من التسجيلات. يستخدم التسجيل الحثى أساسا لإختبار بئر مملوء بطين حفر غير موصل. ايضا يمكن استخدامه فى آبار حاوية على طين حفر موصل للتيار.

شكل (11-20): نموذج لتسجيل حثين أحدهما مركزوالآخر غير مركز لتغيرات عند حدود طبقات مختلفة التكوين والمقاومة. عند قرب حدود الطبقات يظهر بعض التأثير غير الحقيقى

5.2.1.3.11 التسجيلات الدقيقة .Micrologs:

صممت راصدات خاصة لقياس المقاومة بمسافة قريبة جدا من الأقطاب توضع على مسند والذى يضغط بثبات مقابل جوانب البئر شكل (11-21). هذه الأقطاب، والتى يكون البعد بينهما عادة 1 أو 2 بوصة متصلة بدوائر مختلفة للحصول على تسجيلات عادية دقيقة، وتسجيلات جانبية دقيقة وتسجيلات مقياس مقاومية الحفر الدقيقة.

هذه التسجيلات الدقيقة بإمكانها إكتشاف الطبقات الدقيقة جدا. ربما لأن افتراضها الأساسى هو لقياس مقاومة القشرة الطينية (mud cake) المحيط بالبئر والمقاومة فى منطقة الغزو. قياس التسجيلات الدقيقة مهمة حرجة لتحديد معاملات التصحيح والتى يحتاج لها لحساب المقاومة الحقيقية (R_t) من التسجيلات العيارية لكلا من التسجيلات العادية، جانبية، والحثية.

يتحرك الراصد ببطء شديد مقابل جانب البئر وذلك لأن أقطاب هذا النوع من التسجيل (التسجيل الدقيق) مضغوطة. عامة لايطبق مرور التسجيلات الدقيقة خلال الأعماق الكلية للبئر ولكن تطبق فقط بالمناطق المعينة الهامة للتسجيل.

6.2.1.3.11 توليفات (تجمعات) التسجيلات الكهرى Electric Log Combination:

تعتمد المقاومة الظاهرية المقاسة بواسطة التسجيلات الكهربية على:

i- المقاومة الحقيقية R_t فى الطبقة.

ii- المقاومة فى نطاق الغزو.

iii- المقاومات فى الطبقات الأخرى القريبة.



شكل (11-21): راصد تسجيلات دقيقة بأقطاب مركبة على مسند والذى يمر مقابل جوانب البئر

الأشكال المختلفة للأقطاب لقياس الطبقات المختبرة لها نسب مختلفة مع مقاومات هذه الطبقات. وتقاس قيم المقاومات الظاهرية بواسطة توليفات لأشكال أقطاب مختلفة وذلك لحساب المقاومة الحقيقية R_t.

تتكون أجهزة التسجيلات النموذجية من راصد بعدة أقطاب والتى تربط أتوماتيكيا بدوائر مختلفة، لذلك يمكن تمثيل عدة تسجيلات فى نفس الوقت (لحظيا) على نفس مخطط الإتصال strip chart أثناء تحرك الراصد خلال البئر*.

* تسجل (ترسم) النتائج أثناء تحرك الراصد من أسفل لأعلى فى البئر.

يوضح شكل (11-22) تجمع التسجيلات الكهربية:

أ) تسجيل جهد ذاتى (SP)، عادى وجانبى.

ب) تسجيل جهد ذاتى مقياس مقاومية الحفر وتسجيلين حثين. فى كلا هذين التجمعين يمكن استخدام تسجيل الجهد الذاتى لتحديد حدود الطبقة. وتستخدم التسجيلات الأخرى لتقييم (R_t). إذا احتاج الأمر لقياسات مقاومة إضافية تجهز رواصد مختلفة للتسجيلات الدقيقة وتوصل بكابل الحفر wire line. العربة* المتسخدمة التسجيلات الكهربية والمجهزة لذلك، تجهز أيضا لتسجيلات الأشعة والتسجيلات الصوتية.

2.3.11 تسجيل النشاط الإشعاعى Radioactivity Logging:

العملية التى تنبعث بواسطتها الجزيئات من الكتلة أوالطاقة تلقائيا من الذرة تسمى النشاط الإشعاعى. تتكون هذه الإنبعاثات من البروتونات، النيترونات، الإلكترونات وفوتانات الطاقة الكهرومغناطيسية والتى تسمى اشعة جاما.

فى الطبيعة، تأتى هذه الجزيئات والفوتونات من النويات غير المستقرة أو عناصر ذات نشاط إشعاعى مثل اليورانيوم والثريوم والربيديوم وبوتاسيوم 40. يحدث نفس الإنبعاث من النويات المستقرة لعناصر أخرى بقذفها صناعيا بأشعة جاما أو نيترونات. تتم طرق تسجيل النشاط الإشعاعى بإستخدام الإنبعاث الطبيعى أو الصناعى وتحتوى على ثلاث طرق:

1- قياس أشعة جاما الناتجة بواسطة العناصر المشعة فى التكوين.

2- استخدام أشعة جاما من مصدر التكوين.

3- إستخدام القذف النيترونى للتكوين صناعيا بأشعة جاما.

وعامة تسمى الأجهزة المستخدمة لقياس النشاط الإشعاعى للثلاث أنواع السابقة بعدادات الومضات والتى تتكون من بلورة خاصة وأنبوبة كهروضونية. تبث البلورات وميض ضونى كالذى يمتص فوتونات أشعة جاما، وتتحول هذه الومضات إلى نبضات تيار كهربى. بواسطة أنبوبة كهروضونية. تسجيلات النشاط الإشعاعى يمكن الحصول عليها بواسطة رسم مخرج عداد ومضات على لوحة استخلاص (strip chart).

1.2.3.11 تسجيلات إشعاع جاما الطبيعى Natural Gamma Radiation Logging:

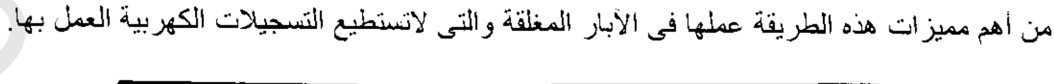
تنتج العناصر الغير مستقرة** مستويات قياسية لأشعة جاما. لذلك فالاستخدام الأساسى لتسجيلات اشعة جاما الطبيعية تلاحظ فى طبقات الطفلة وقيمة محتويات الطين فى الحجر الرملى والكربونات الغير نقية.

يعد عداد الومضات المستخدم لتسجيلات اشعة جاما الطبيعية عدد الومضات الضونية الحادثة فى البلورة خلال فترة زمنية ثابتة. هذه القيم تسجل على لوحة الإستخلاص. تعتمد حساسية تسجيلات أشعة جاما الطبيعية

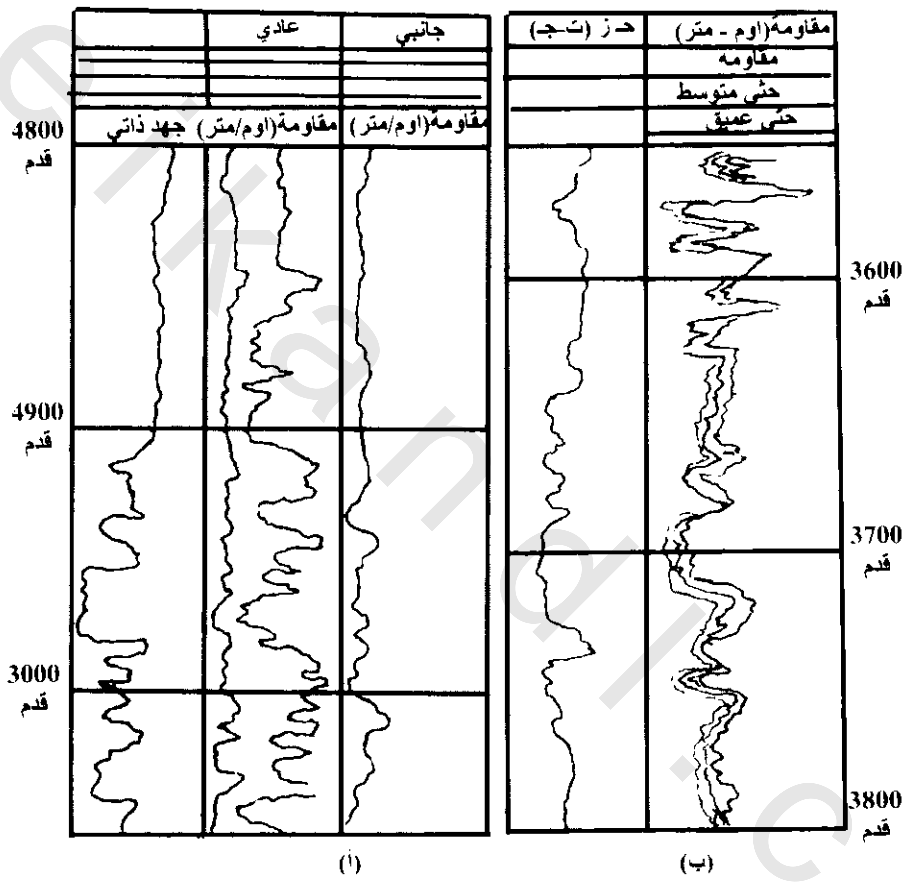
* العربة التى تحمل أجهزة التسجيلات تحمل أيضا ونش وكابل الحفر لإنزال ورفع الراصد فى البئر وكل هذا يتحكم فيه الكترونيا. للعمل بالشواطئ، نفس الاجهزة تركب فى مركب صغير أو على رصيف الحفر البحرى.

** تركيز صغير لعناصر مشعة بوجوده فى معظم طبقات الطفله، البوتاسيوم فى الميكا، معاون الطين الشاملة على نسبة صغيرة من نظائر البوتاسيوم 40 المشع، آثار من اليورانيوم والثريوم الموجودة فى الطفلة، الحجر الرملى الكوارتزى، طبقات الكربون التى لها تركيز منخفض للشوائب المشعة.

للحدود بين الطفلة والطبقات الأخرى الأقل منها إشعاعيا على زمن عد الجهاز وسرعة تحرك الراصد فى البئر شكل (11-23). ويمكن استنتاج عدم الإنتظام فى التسجيل بسبب زيادة زمن العد، ولكن إذا تحرك الراصد سريعا جدا، سيدل التسجيل على التدرج أكثر من التغير الحاد فى النشاط الإشعاعى بالقرب من حد الطبقة. ومن الممكن أن يكون هذا التغير التدريجى حادا وذلك بواسطة بطء سرعة الراصد، ولكن لأسباب عملية لايمكن أن يعمل الراصد ببطء. لذلك يجب عمل الضبط بإختيار زمن العد مع خضوع سرعة الراصد لاستخدام التسجيل العملية. نموذجيا يمكن الحصول على نتائج جيدة بزمن عد 2 ثانية وسرعة راصد 30 قدم/دقيقة.



من أهم مميزات هذه الطريقة عملها فى الأبار المغلقة والتى لاتستطيع التسجيلات الكهربية العمل بها.



شكل (11-22): تجمع تسجيلات كهربية نموذجية. أ) جهد ذاتى، تسجيل عادى (16، 64 بوصة) تسجيل جانبى 16 قدم، 8 قدم، ب) جهد ذاتى، تسجيل حثى، وتسجيل مقومية

2.2.3.11 تسجيلات أشعة جاما Gamma-Ray Density Logging:

أشعة جاما المنبعثة فى جزء منفصل للطاقة الكهرومغناطيسية تسمى الفوتونات*. وأثناء انتقالها خلال المواد فإنها تتصادم تواتريا مع الإلكترونات، وينتج من هذا التصادم طاقة الفوتون، وتسمى هذه العملية الإنتشار العدى Compton scatterring**. تعتمد عدد التصادمات الحادثة أثناء فترة زمنية ثابتة على كثرة الإلكترونات والتى تتناسب مع كثافة المادة.

* الفوتونات أجزاء من الطاقة.

** تتم هذه العملية بواسطة الراصد، حيث يوجد فى الجزء الأسفل منه لفز المصدر الذى يبعث أشعة جاما. والجزء العلوى به عداد الوميض.

يستخدم تسجيل كثافة أشعة جاما لتعين كثافة التكوين (ρ_o) بواسطة إشعاعات جاما المعرضة للإنتشار الحثى.

تعتمد العلاقة بين كثافة التكوين ρ_o ومعامل كثافة الإلكترون على وجود عناصر كيميائية حيث أن عدد الإلكترونات لكل عنصر يختص بالعدد الذرى له ويجمع العدد الذى للعناصر فى التكوين يمكن حساب كثافة هذا التكوين.

$$^{*}\rho_o = \rho_e \, w/2 \, \Sigma \, N \qquad (11\text{-}7)$$

حيث (w) الوزن الجزينى لمكونات التكوين، (ρ_e) تقرأ من التسجيل للحصول على نتائج جيدة، يمكن عمل الآتى:

i- يضغط كلا من عنصر المصدر والكاشف بثبات مقابل جدار البئر.

ii- يجب تجهيز الراصد بنصل (سكين) لقطع أى قشرة طينية (mud cake) لحفظ التماس مع سطح الصخر.

iii- يجب تحرك الراصد ببطء شديد خلال البئر بسرعة أقل من 30 قدم/دقيقة.

iv- فى الآبار العميقة، يقتصر تسجيلات كثافة اشعاعات جاما على النطاقات التى لها أهمية خاصة.

3.2.3.11 تسجيل نيرتونات أشعة جاما Neutron-Gamma-Ray-Logging:

من الممكن تحفيز العناصر الغير مشعة فى التكوين بواسطة قذفها بالنيترونات. هذه العملية تجعل تسجيل نيترونات أشعة جاما تعطى معلومات عن المسامية. يحتوى الراصد على مصدر نيترونى** ، ويوضع العداد الوميضى على مسافة ثابتة منه. عند عمل المصدر النيترونى، فإن إشعاعات جاما المأسورة (المحجوزة) تنبعث من التكونات وتكتشف عند الراصد. يعتمد هذا الاكتشاف على المسافة من أماكن النيترونات المأسورة. إذا انتقلت هذه النيترونات لمسافة كبيرة قبل الحجز، تعاد أجزاء صغيرة من أشعة جاما المحجوزة (المأسورة) لتصل للراصد، ولكن حينما تمتص النيترونات بسرعة بالقرب من البئر فإنها تسجل مستوى أشعة جاما المحتجزة. يعتبر تركيز الهيدروجين فى التكوين أهم عامل يؤثر على المسافة التى ينتقل لها النيترون قبل احتجازه. عندما يكون محتوى الهيدروجين عاليا، فإن النيترون المحتجز يحدث بالقرب من البئر، ويكتشف بذلك المستوى العالى لأشعة جاما المحتجزة. عندئذ يشير تسجيل نيترونات أشعة جاما للتغير فى تركيز الهيدروجين.

حيث أن الهيدروجين يوجد فى جزينات الماء والبترول وبلورات المعادن المميأة مثل سليكات الطين، الميكا، الأمفيبولات والجبس. لذلك فإنه فى الحجر الجيرى الكوارتزى وصخور الكربونيت فغالبا ما يوجد الهيدروجين كليا فى المياه والبترول المالئ للمسام. ويعتمد تركيزه على مسامية التكوين. تحتوى الطفلة على الهيدروجين وربما يشاركها فى ذلك الميكا والمعادن الطينية وأيضا ماء المسام.

من الصعب تميز طبقات الطفلة عن الحجر الرملى المسامى أو الطبقات الكربونية بواسطة تسجيل أشعة نيترونات جاما وذلك لأن هذه الطبقات المختلفة تحتوى جميعها على نفس تركيز الهيدروجين. لذلك تستخدم الأنواع الأخرى من التسجيلات مثل أشعة جاما الطبيعية، لعمل تصنيف لخصائص هذه الصخور. ويكون

* كـ (ρ_o) تستخدم لقياس المسامية.

** كمية من المواد المشعة مثل البلوتونيوم، بريليوم والتى تشع نيترونات خلال عملية التحلل الإشعاعى.

شكل (11-23): شكل نموذجى يوضح التغير لأشعة جاما الطبيعية بالقرب من الحدود بين الطفلة والحجر الرملى. أ) زمن عد قصير وسرعة حركة الراصد، ب) زمن عد طويل وسرعة حركة الراصد، ج) زمن عدد طويل وبطء حركة الراصد

الإستخدام الأساسى لتسجيلات نيترونات أشعة جاما هو اكتشاف تغير المسامية خلال طبقات صخور الحجر الرملى أو طبقات الكربونات كما هو موضح فى شكل (11-24). ويمكن التحقق من طبقات الحجر الرملى أو الطفلة بواسطة تسجيلات أشعة جاما الطبيعية. ويمكن بعد ذلك ملاحظة التغير فى تسجيلات نيترونات أشعة جاما خلال كل طبقة على حدة لدراسة التغير فى المسامية. فمثلا فى شكل (11-24) يدل على نسبة احتواء عالية من الهيدروجين ولهذا فإن أعلى مسامية تكون قريبة من مركز الطبقة.

ويمكن إجراء تسجيل أشعة نيترونات جاما فى الآبار المغطاه (casing) والغير مغطاه. ونموذجيا يتحرك الراصد بسرعة 30 قدم/دقيقة والعد الزمنى لعداد الوميض يكون لكل 2 ثانية. تجهز عداد الوميض لاكتشاف الطول الموجى لأشعة جاما المحتجزة والتى تختلف عن الطول الموجى لأشعة جاما الطبيعية.

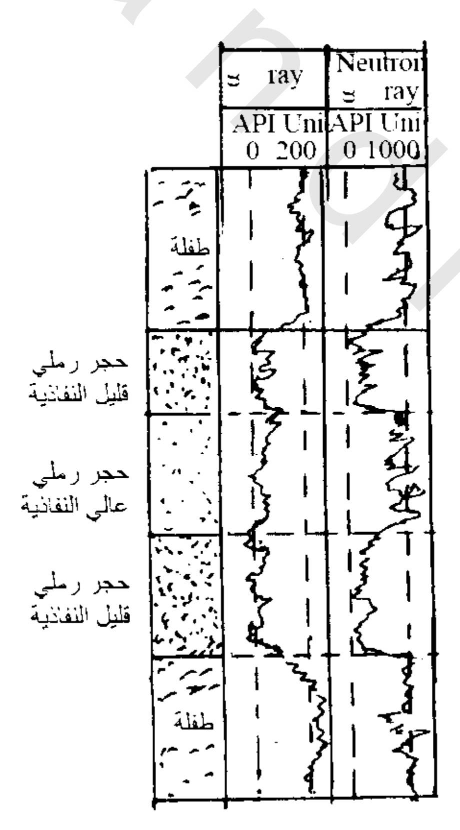
3.3.11 التسجيلات الصوتية Sonic Logging:

يتكون جهاز قياس هذه التسجيلات من مصدر صوتى ومستقبلين موضوعين جميعهم على راصد شكل (11-25أ). تنبعث النبضات الصوتية من المصدر بفترات 0.1 ثانية. وبما أن سرعة الموجات الأولية فى التكوين الصخرى أسرع منها فى سائل الحفر للبئر، لذلك فإن هذه الموجات تنكسر فى الصخور عند جوانب البئر قبل

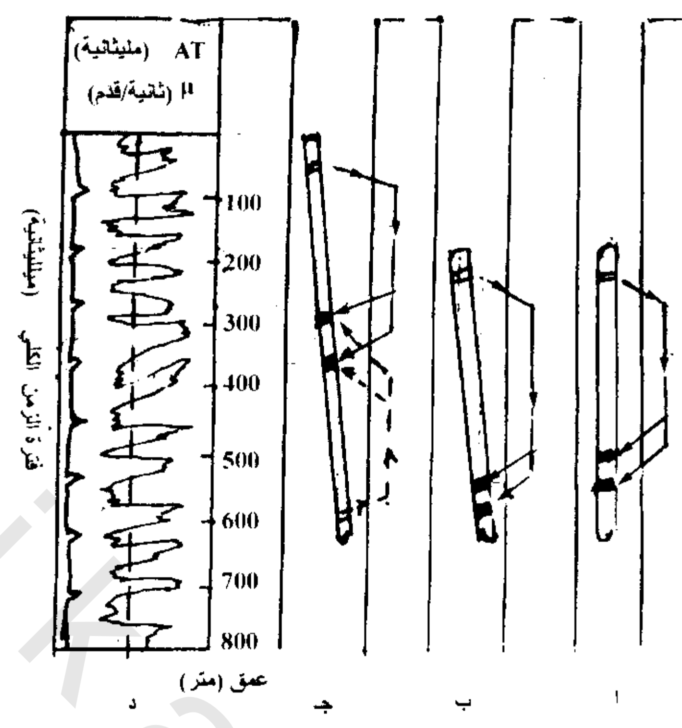
وصولها للمستقبلين. تنشط كل نبضة صوتية الدائرة الزمنية والتى تسجل الفرق فى الفترات الزمنية للمستقبلين. هذه القيمة (الفرق) تسمى فترة زمن الإنتقال (interval transit time T_o). ترسم فترات زمن الإنتقال على مخطط الإستخلاص للحصول على تسجيل صوتى.

إذا مال الراصد فى البئر أو إذا تغير قطر البئر فإن طرق الإنتقال خلال سائل حفر البئر للمستقبلين سوف تختلف أطوالها شكل (11-25ب). وهذا يعنى أن قياس زمن فترة الإنتقال الظاهرية أكبر من القيمة الحقيقية لـ T_o فى التكوين وللتغلب على هذه الصعوبة فإنه يركب مصدر نبضات صوتى آخر على الراصد يقع عكس الراصد الأصلى. شكل (11-25جـ) فى هذه الحالة تنبعث نبضات الصوت بالتبادل من المصدرين، ويكون زمن فترة الإنتقال للموجات المنكسرة من الإنتقالين المنعكسين عبارة عن متوسط الكترونى يمكن الحصول منه على القيمة الحقيقية T_o يرسم متوسط زمن فترة الإنتقال على لوحة المخطط للحصول على التسجيل الصوتى المكافئ للبئر Borehole-compansated (BHC).

الموجات الأولية (P-waves) الواصلة للمستقبلين تنكسر حرجيا على جانب البئر. لذلك، فإن التسجيل الصوتى يختبر فقط النطاق الواقع بالقرب جدا من البئر. تعتمد قراءة التسجيل لفترة زمن الإنتقال T_o على نسبة النسيج الصلب والسائل فى هذا النطاق. تستخدم هذه القراءة مع قيمة زمن الإنتقال فى الأجزاء الصلبة (T_m) والسائلة (T_w) للحصول على قيمة مسامية التكوين. تقدر T_m على أساس معلومات عن التركيب الصخرى



شكل (11-24): نموذج يوضح تأثير نوع الصخر والمسامية على تسجيل γ طبيعية.تعتمد أشعة جاما الطبيعية على العناصر المشعة (تركيز) فى الصخور. وتعتمد تسجيلات نيترونات أشعة جاما على نسبة الماء المالئ للفراغات فى الصخور



شكل (11-25): نموذج شكل المصدر والمستقبلين . أ) مصدر ومستقبلين رأسيين. ب) مصدر ومستقبلين مائلين. ج) مصدرين ومستقبلين مائلين . د) شكل منحنى التسجيل

المستنتج من عينات الحفر أو أنواع أخرى من التسجيلات. أما تقدير فى T_w يتطلب بعض المعلومات عن وسائل التكوين والتى يمكن الحصول عليها من التسجيلات الكهربية. وتعتبر هذه الطريقة نافعة للحصول على:

i- المقارنات القريبة للآبار.

ii- اكتشاف الطبقات الرفيعة كالمسافة بين المستقبلين والتى تكون عادة واحد قدم.

iii- المساهمة فى تفسير المسح السيزمى بالقرب من منطقة التسجيل.

iv- يشير التغير فى فترة زمن الإنتقال على الحدود التوقع على أماكن الإنعكاسات.

4.11 تقييم التكوين Formation Evaluation :

تشمل خواص التكوين التى يمكن تقييمها من قياسات الآبار وصف التكوين الصخرى وسمك الطبقة، المسامية، النفاذية، ونسبة الماء والهيدروكربونات الشاغلة للفراغات المسامية.

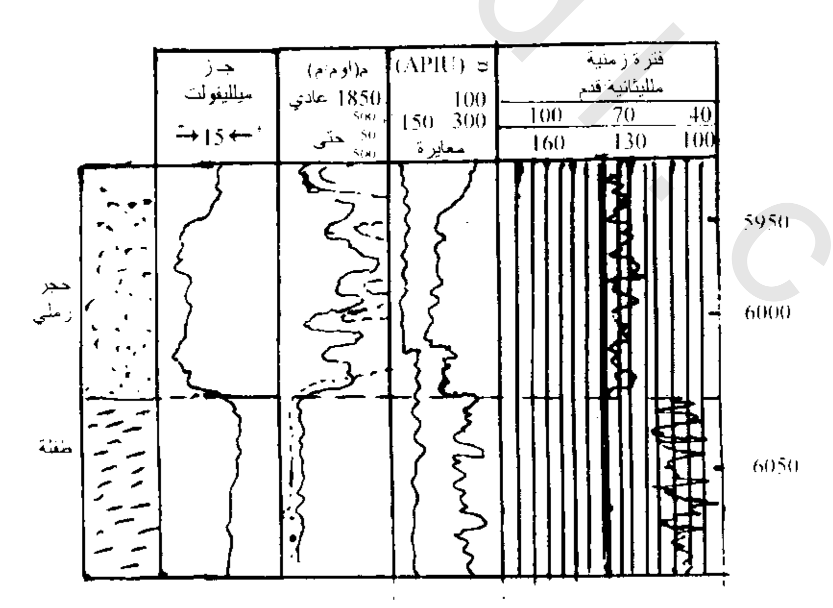
1.4.11 وصف التكوين الصخرى وسمك الطبقات Lithology and Bed Thickness Description of:

تساعد قياسات اختلاف الجهد الطبيعى، المقاومة الكهربية، إنبعاث الإشعاع الطبيعى، سرعة الموجات السيزمية فى تمييز اختلافات التكوينات الصخرية. يوضح شكل (11-26) قطاع تتابعى لطبقات الحجر الرملى والطفلة وقيم الخواص الفيزيائية المقاسة، عبر فترة ثابتة، يقابل هذه الطبقات. هذه القياسات عالية فى الطفلة ومنخفضة فى الحجر الرملى. ويمكن إستخدام التسجيلات لقياسات دقيقة لهذه الحدود والأسماك كما فى شكل (11-26)، (11-24).

التطبيق العادى يكون لتفسير وصف التكوين الصخرى فى بئر بوساطة مقارنة التسجيلات لهذا البئر مع تسجيل مرجعى من بئر آخر فى منطقة يكون الوصف الصخرى معروف مبدئيا من دراسة تمت بعناية لعينات صخرية وربما لصخور لبية (core). ويلاحظ أيضا النماذج التابعة لوحدات الوصف الصخرى بواسطة المقارنة المرئية للتسجيلات شكل (11-27). ومن النافع معرفة أن الإرتفاعات والإنخفاضات على تسجيلات الآبار لاتسجل عادة بالضبط عند حواف الطبقات. أكثر من هذا، فإن هذه الحواف تحدد بواسطة الإنعكاسات الظاهرية بين نقط الإرتفاعات والإنخفاضات على التسجيل. ويكون عرض المقارنة أكثر أهمية عندما توفر الإمكانية لملاحظة النقطة الخاصة خلال النموذج الذى يعلم (يحدد) حد الطبقة. وحيث أن الأنواع المختلفة من أجهزة التسجيلات تسجل نماذج مختلفة من التغير، يكون صعب تماما للمقارنة أى، تسجيل المقاومة من بئر واحد مع تسجيل إشعاعى من بئر آخر. يكون التحديد المضبوط لنفس حافة الطبقة فى آبار مختلفة الأحسن عمل بواسطة مقارنة التسجيلات المسجلة بأنواع مختلفة من الأجهزة. وحيث لايوجد نوع خاص من تسجيل يستخرج ليكون أساس (رئيسى). ففى بعض المناطق تسهل تسجيلات المقاومة المقارنة ولكن فى بعض الأماكن الأخرى يطزم نموذج المقارنة أوضح على تسجيلات الإشعاع.

2.4.11 المسامية Porosity:

تعرف المسامية فى عينة من صخر التكوين أنها نسبة حجم الفتحات بين الحبيات، التشققات، الكهوف فى العينة للحجم الكلى لها. لمسامية صخور الخزان الحاوى للبترول، الغاز الطبيعى أو مياه عذبة أهمية خاصة لأنها تشير لحجم السائل المخزون فى هذه الصخور. يوجد ثلاثة طرق لتقدير المسامية من تسجيلات الآبار تبعا للخواص الطبيعية:



شكل (11-26): يوضح هذا الشكل التغير فى الخواص المختلفة جهد ذاتى، مقاومة، اشعة جاما ، فترة زمن الصوت (فترة زمن الموجة الأولية) عند الحد بين الحجر الرملى والطفلة

1.2.4.11 المقاومة الكهربية Electrical Resistivity:

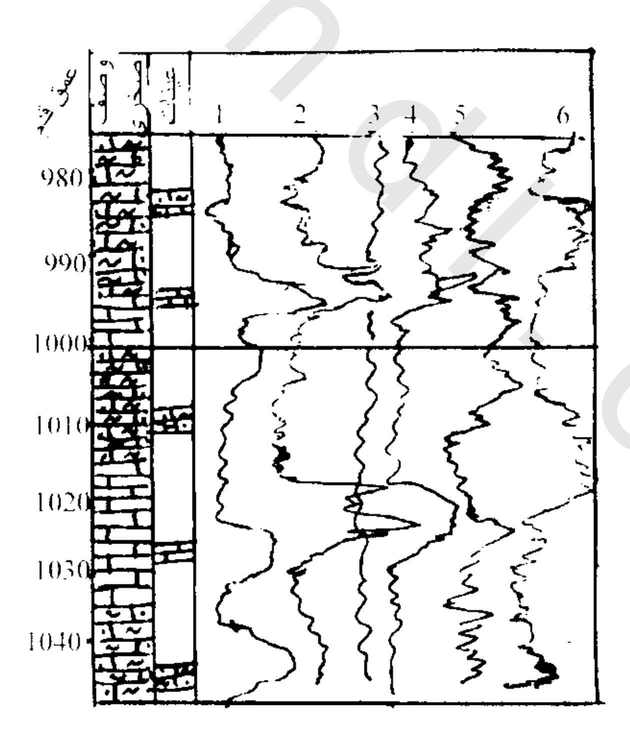
إلى حد ما تختلف مقاومة الفراغات المملوءة بالسوائل عن مقاومة النسيج الصلب، فإنه يتوقع وجود علاقة بين مقاومة التكوين والمسامية. أقترح (أرش (Archie 1942) هذه العلاقة من القياسات المعملية لعينات لوبيه من الحجر الرملى والتى شبعت بماء حاوى تركيزات مختلفة من كلوريد صوديوم مذاب. تسمى هذه العلاقة معامل مقاومة التكوين formation resistivity factor والتى تعتمد على مقاومة التكوين (R_o) ومقاومة فراغات السائل (R_w)

$$F = \frac{R_o}{R_w} \qquad (11\text{-}8)$$

يوضح شكل (11-28) العلاقة بين (F) والمسامية (φ) والتى وجدت لعينات لوبيه مختلفة على لوحة لوغارتمية. من هذا الشكل، يمكن ملاحظة أن (φ)، (F) يرتبطا بعلاقة فى صورة معادلة هى

$$\phi = aF^{-m} \qquad (11\text{-}9)$$

حيث (m-) ثابت يعتمد على تركيز صخور الخزان وقيمته غالبا بين (0.3-0.2)، (a) ثابت والذى يجب إيجاده بواسطة اختبار الصخور فى منطقة الدراسة وقيمته غالبا بين (1.0-0.62). هذه الصيغة غالبا تستخدم باتساع فى تقييم التكوين.



شكل (11-27): مثال لتفسير جيوفيزيائى تجميعى لوحدات صخرية (قطاع كربون). 1- مقاومة، 2- نيترون، 3- أشعة γ، 4- نتيرون جاما، 5- جاما-جاما، 6- نبضات نيترون –نيترون

2.2.4.11 فترة زمن الموجة الأولية P-wave Travel Time:

فى هذه الطريقة تحدد المسامية من سرعة الموجة التضاغطية ويسمى جهاز قياسها سرعة الموجات الصوتية. سرعة الموجة الصوتية خلال فراغت السوائل (V_w) عادة تختلف عنها خلال النسيج الصخرى (V_m) ولان سرعة الموجات الصوتية (V_o) المميزة لخواص التكوين تعتمد على نسبة هاتين الجزئين فتكون علاقة المسامية

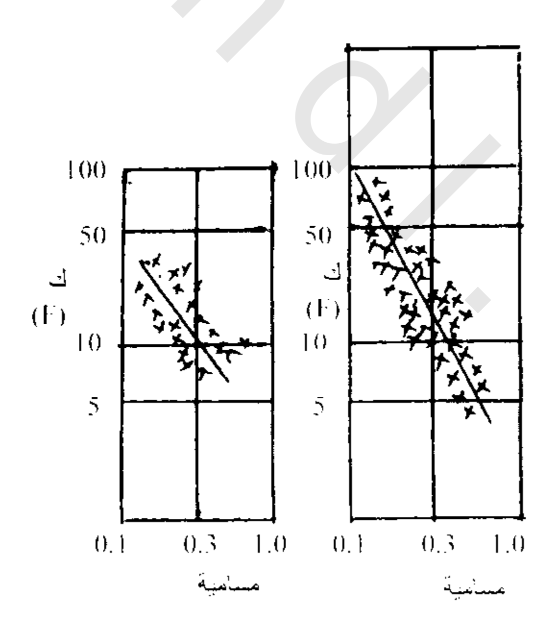
$$\frac{1}{V_o} = \frac{\phi}{V_w} + \frac{1-\phi}{V_m} \qquad (11\text{-}10)$$

سرعة موجة التكوين (V_o) ممكن إيجادها من فترة الزمن (T_o) بين نقطتين المسافة بينهما معروفة*. لأن هذه النقطة تبقى المسافة بينهما ثابتة على جهاز التسجيل الصوتى، فمن المعادلة السابقة تكون المسامية لها علاقة مباشرة مع فترة الزمن.

$$T_o = \phi\, T_w + (1-\phi)\, T_m \qquad (11\text{-}11)$$

حيث T_m, T_w فترات زمنية على نفس المسافة خلال السائل والذى سرعته V_w وخلال الصلب والذى سرعته V_m. ويمكن إعادة صياغة المعادلة السابقة.

$$\phi = \frac{T_o - T_m}{T_w - T_m} \qquad (11\text{-}12)$$



شكل (11-28): علاقة بين معامل التكوين والمسامية على عينات حجر رملى منطقتين مختلفتين

* $V = \frac{D}{T}$

3.2.4.11 الإنبعاث النووى Nuclear Emissions:

تستخدم الكثافة لتعين المسامية. تعتمد هذه الخاصية الطبيعية على نسبة فراغات السوائل والذى كثافته (ρ_w) ونسبة النسيج الصلبوالذى كثافته (ρ_m) لذلك فإن علاقة الكثافة

$$\rho_o = \phi\, \rho_w + (1-\phi)\rho_m \qquad (11\text{-}13)$$

ويمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لتصبح

$$\phi = \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_m - \rho_w} \qquad (11\text{-}14)$$

معروف أن كثافة التكوين المائى يقترب من 1 جم/سم^3 والكثافة النموذجية للنسيج تكون ما بين 2.6 إلى 2.7 جم/سم^3. ويمكن إستخدام طريقة الإشعاع لتعين كثافة التكوين بطريقتين:

أ) إستخدام جهاز قذف التكوين بفوتونات كهرومغناطيسية والتى تنتشر بتصادمها مع الإلكترونات فى التكوين. ونتيجة عملية الإنتشار فإن نسبة معينة من هذه الفوتونات تعود للكاشف وتعتمد هذه النسبة على تركيز الإلكترونات، وبالتالى على كثافة التكوين (ρ_o).

ب) قذف التكوين بنيترونات والتى تمتص فى نواة ذرات فى التكوين، والتى تسبب إنبعاث أشعة جاما من النواة. ويعتمد مستوى إشعاع جاما الواصلة للكشاف على كثافة التكوين.

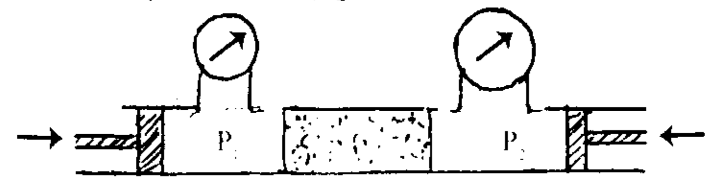
3.4.11 النفاذية Permeability:

تعتمد على الإمتداد الذى فيه تتصل الفراغات وعلى قطر الفتحات. وهى عبارة عن سعة التكوين لإنتقال السوائل. يرى شكل (11-29) الجهاز الذى يقيس النفاذية والمعادلة المستخدمة.

$$K = \frac{0\,\mu L}{P_1 - P_2}$$

حيث (q) = حجم/وحدة زمن، (L) = طول العينة (لوبية)، μ= اللزوجة، P_1-P_2 = اختلاف الضغط. وحدة قياس المسامية (دارسى Darcy) = 0.98x10^{-8} سم^2.

وضع ارش Archie 1942 العلاقة بين النفاذية ومعامل مقاومة التكوين (F) شكل (11-30). أيضا تؤثر قوة الخاصية الشعرية* فى صور سعة الصخور للماء الحقيقى. تسبب هجرة سائل لهيدروكربون احلاله بدلا من كمية كبيرة من الماء.ويسمى الجزء الباقى من الماء بالماء المشبع (المستعصى S_{irr}).



شكل (11-29): جهاز قياس النفاذية فى عينة صخرية لوبية، ضغط الكباس الأيسر وسحب الكباس الأيمن ينشأ الضغط P_1 فى يسار الحجرة والعكس ينشأ الضغط P_2 فى يمين الحجرة. يسبب فرق الضغط إنسياب السائل خلال العينة بالحجرة من اليسار لليمين

* تعتمد على أقطار قنوات الفراغات.

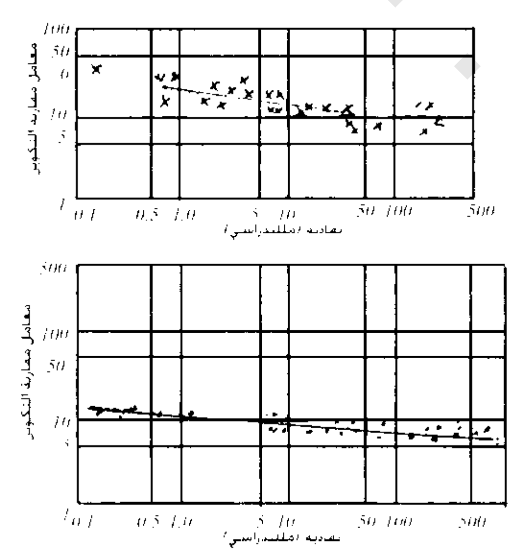
ويمكن تقدير قيمة (S_{irr}) من قياسات المقاومة خلال تكوين الخزان والذى فيه يقل تشبع الماء لأقل إستقصاء بواسطة احلال الهيدروكربون من المعادلة $\phi = a \; F^{-m}$ نجد أن معامل التكوين يعتمد على المسامية. ومن الحقيقتين قوة الخاصية الشعرية وتشبع الماء المستعصى تتأثر النفاذية بالمسامية وتوضح معادلة النفاذية $K=(C\phi^3/S_{irr})^2$ العلاقة بين المسامية والنفاذية حيث C ثابت يعتمد على الوصف الصخرى ومتوسط حجم الحبيبات للصخور، قيمة C, S_{irr}, ϕ يجب تقديرها أولا من قياسات تسجيل البئر.

4.4.11 التشبع المائى والهيدروكربونى Water and Hydrocarbon Saturation:

غالبا ما تمتلئ مسافات الفراغات بالصخور بالماء. فى بعض الحالات، يحتوى هذا الماء على كلوريد صوديوم مذاب وأيونات أخرى. لذلك يصبح هذا الماء موصل جيد للكهربية بمقاومة قليلة ونسيج التكوين الصلب توصيل للكهربية قليل بمقاومة كبيرة. تبعا لذلك، فإن إنسياب التيار الكهربى فى التكوين يكون غالبا كليا خلال فراغات الماء.

يوجد البترول والغاز الطبيعى فى نطاقات صخور رسوبية. وحيث أن البترول والغاز الطبيعى قليل التوصيل لمقاومته الكبيرة. لذلك عندما تتخلل الهيدروكربونات صخور الخزان لتحل محل بعض من الماء القليل فإنها تزيد المقاومة الكهربية للتكوين.

صخور الخزان النموذجية تحتوى على خليط من سوائل الماء والهيدروكربون. ولكثافتها القليلة تصبح أكثر تركيزا فى الجزء العلوى من الخزان. لذلك، فإن الخزان الحاوى على سوائل هيدروكربونية تشير لتدريج علوى يزيد من المقاومة الكهربية ولتقدير جهد طاقة انتاج البئر، من المفيد تحديد نسبة الماء والهيدروكربونات فى اجزاء مختلفة من الخزان بواسطة قياسات المقاومة. أقترح أرش Arche 1942 صيغة لإيجاد نسبة الماء، والتى تسمى تشبع الماء (S). وضعت هذه الصيغة على قياسات معملية لمقاومة عينات لوبية من الحجر الرملى الحاوى على نسب مختلفة من البترول والماء الذى له ملوحة ثابتة. يضبط تشبع الماء (S) ونسبة المقاومات R_o/R_t بواسطة خط مستقيم على رسم لوغاريتمى دالا على أن $S = R_o/R_t$. حيث R_t مقاومة صخور حاوية على خليط من الهيدروكربون والماء، R_o مقاومة نفس نسيج صخرى مشبع تماما بالماء. ولأن معامل التكوين $R = R_o/R_w$ إذا $S=(FR_w/R_t)^{1/n}$ حيث R_w مقاومة الماء الذى يملأ جزئيا مسافة الفراغات. وحيث يقل تشبع الماء فى الخزان تدريجيا لأعلى، لذلك يجب أن تقاس R_o من قراءة تسجيل البئر المسجل فى الجزء الأسفل والذى يكون مشبعا تماما بالماء.



شكل (11-30): يوضح الشكل العلاقة بين معامل مقاومة التكوين: F) والنفاذية (K) موضوعة على قيم مقاسة فى عينات الحجر الرملى لمنطقتين.

الفصل الثانى عشر

تطبيقات جيوفيزيقية لحركات الألواح

Geophysics Applied to Plate Tectonics*

1.12 مقدمة Introduction:

من أواسط القرن العشرين، إزدادت المعرفة حول الظواهر الطبيعية للأرض، خاصة المعرفة حول تركيب وتطور القشرة الأرضية، وذلك نتيجة للاكتشافات الهامة من دراسات مقياس الأعماق، السيزمية، المغناطيسية، الجاذبية والإنسياب الحرارى. وقد أدت هذه الإكتشافات إلى قبول عام لنظرية إزاحة القارات ومهدت الطريقة لسفسطة أكثر ومفهوم ثورى لتباعد الأرضية البحرية (شرحت فى المغناطيسية القديمة سابقا).

الغرض من هذا الفصل، عرض مختصر لدور الإكتشافات الجيوفيزيقية الحديثة فى تحويل مفاهيم لحركات الكرة الأرضية إلى نظرية موحدة لحركات الألواح، والتى أمدت برؤيا قيمة لميكانيكية تطور وإعادة القشرة الأرضية.

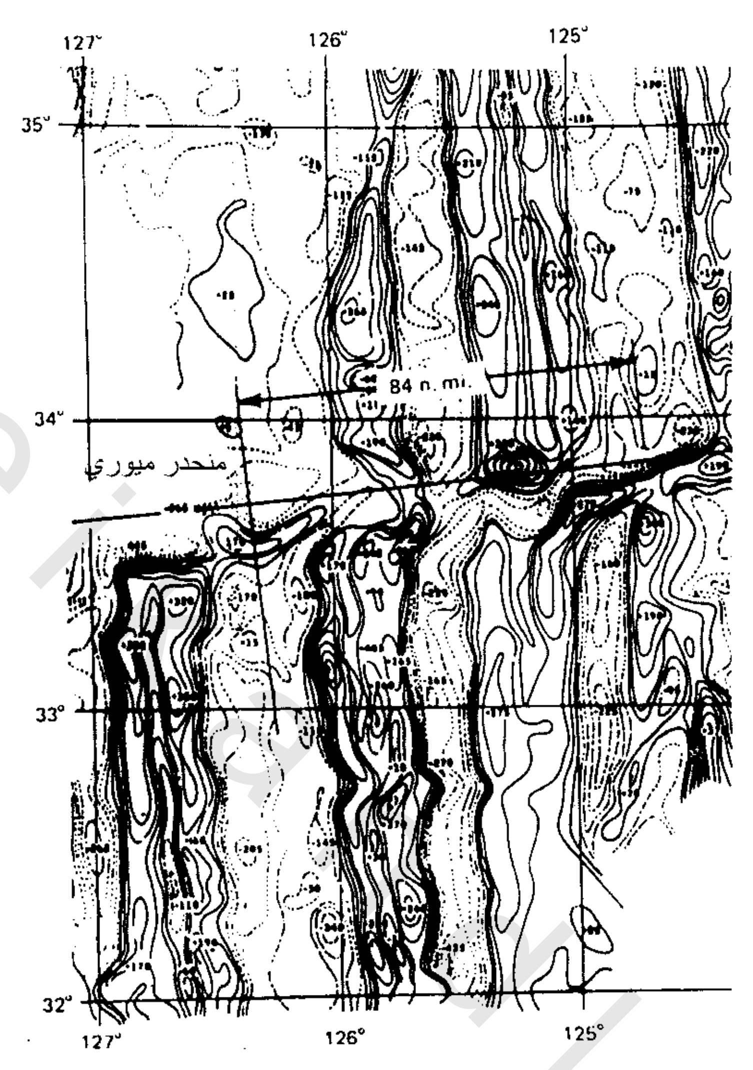
2.12 العناصر الأساسية لحركات الألواح Basic Elements of Plate Tectonics:

تطور مفهوم حركات الألواح من افتراضات تباعد الأرضية البحرية، بالإشتراك مع فكرة أول إقتراح ولسون J.T. Welson 1965 لنوع حديث "فالق متحول (مضربى الإزاحة)*.

1.2.12 فوالق متحولة (مضربية الإزاحة) Transform Faults:

هذه الفوالق ظاهرة لافتة للنظر فى عدد من الأماكن المقابلة للنتوءات والأخاديد المحيطية حيث تلاحظ على طول مناطق الشقوق والتى رصدت بواسطة مسوحات المغناطيسية فى شرق المحيط الباسيفيكى حيث تشير لمقابلات كبيرة لنموذج شاذة المغناطيسية كما هو واضح فى شكل (12-1) على منطقة شق مندوكينو Mendocino حيث كان أكثر المقابلات كبرا والذى بلغ أكثر من 1000 كم. خاصة وأن هذه المتقابلات أصبحت لغزا يلاحظ وذلك لمصاحبتها لإزاحة قصية كبيرة المقياس تبدو لنهاية قطع مفاجئ على طول امتداده.

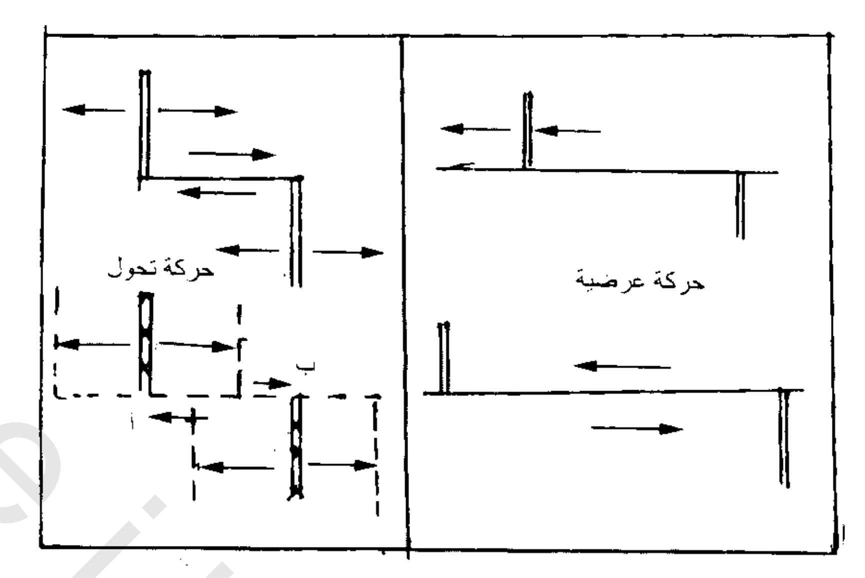
* هو الذى على طوله تقف الإزاحة فجأة أو تحول شكلها.



شكل (12-1): خريطة لشذوذ شدة مجال مغناطيسى كلى، الكنتور بالجاما. إزاحات شرائح الشاذات تدل على إزاحة أفقية 153 كم على طول كسر منطقة ميورى (ماسون Mason 1958)

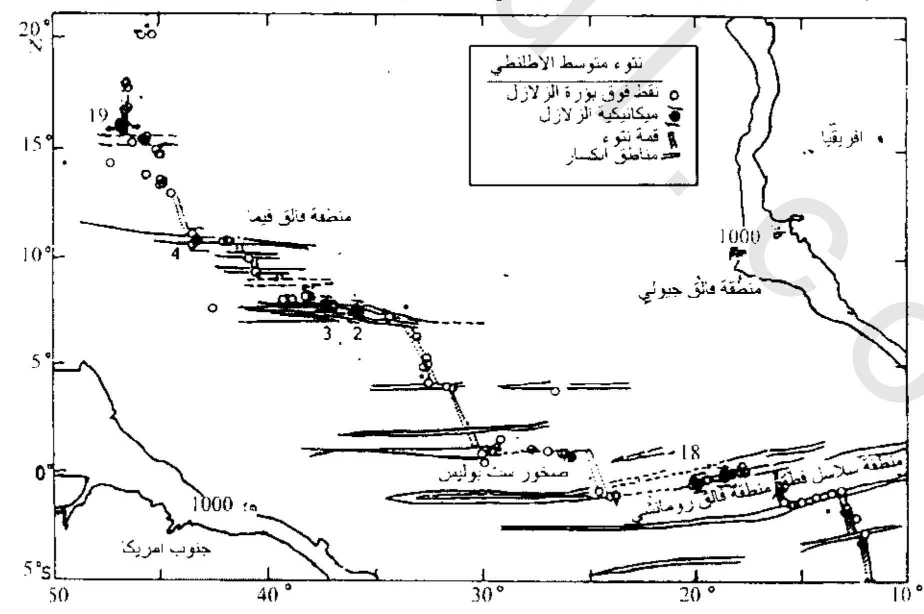
أيضا اقترح ولسون Wilson 1965 توضيح بتوسع بسيط كيف ان فوالق التحول ومضربية الإزاحة، حددت خلال نظرية نطاق تباعد أرض البحر، حيث فرض أن الشقوق التى أزاحت النتوءات المحيطية ووصلت الجزر عبارة عن سلاسل ليست فوالق مستعرضة* (trans current fault) "مضربية الإزاحة لمقياس واسع" ولكن فوالق تحول (مضرب الإزاحة) لبعض خواص مختلفة، ويوضح شكل (12-2) الفرق بينهما. فى الفالق المستعرض، فإن الكتل على جانبى الفالق تتحرك فى إتجاه الأسهم، لهذا، فإن الإزاحة تزداد مع الحركة العرضية كلما كان نشاط الفالق مستمر. فى نتوء-نتوء فالق التحول (مضربى الإزاحة) تكون الإزاحة نشطة فقط فى القطع الواقع بين النتوءات، وتبقى الإزاحة ثابتة وتكون إتجاه الحركة عكس المتوقعة بواسطة الحركة العرضية. تكون فوالق نتوء-نتوء التحول (مضربى الإزاحة) أكثر الأنواع شيوعا ولكن فوالق التحول (مضربية الإزاحة) يمكن أن توجد أيضا بين نتوء وأخدود أو بين أخدودين.

* فالق مضربى الإزاحة لمقياس واسع والذى فيه يميل سطح الفالق (دفع مستعرض) بشدة



شكل (12-2): الفرق بين نتوء-نموذج نتوء فالق (يسار) وفالق عرضى (يمين). تزيد الإزاحة مع الحركة العرضية بينما تبقى ثابتة مع حركة التحول. يستدل على قمة النتوء بواسطة قضبان متوازية

أتى دليل مؤيد لنظرية فالق التحول (مضربى الإزاحة) من علم الزلازل فى طريقتين. **الأولى**، تصاحب فقط فوق البؤرة الزلزالية مع نظام نتوء منتصف المحيط تكون محاذية على قمم النتوءات وعلى أجزاء من مناطق التشقق تبعا للقطع أب، ليس خارج أب شكل (12-2). **الثانى**، من دراسة الحركة الأولى للزلازل على طول مناطق التشقق، يوجد إتجاه الحركة الأولى ليبرر ماذا يمكن توقعه على أساس تفلق تحولى (مضربى الإزاحة) مثال ذلك يوضح شكل (12-3) جزء من منتصف نتوء الأطلنطى، حيث ترى مواقع نقط فوق البؤرة وإتجاه الإنزلاق المعطى بواسطة دراسة الحركة الأولى للزلازل على قطاعات منطقة تشقق مستعرضة، وتكون جميع الزلازل على نظام نتوء-شق بؤر زلزالية ضحلة والتى يمكن توقعها بواسطة عملية تباعد أرضية البحار.



شكل (12-3): مواقع فوق البؤرة (دوائر مفتوحة) على طول الجزء الاستوائى لنتوء منتصف الأطلنطى. ترى محطات ميكانيكية البؤرة لست زلازل (الدوائر السوداء 1، 2، 3، 4، 18، 19) على مناطق الإنكسار (شرق –غرب). تشير الأسهم لإزاحة قصية ومضرب مستوى إستدلال الفالق علاوة على كل من هذه الميكانيكية (سيكس Sykes 1968)

2.2.12 مفهوم الألواح والحركة النسبية The Concept of Plates and Relative Motion:

عمل أربع علماء ماكنز وباركر McKenzie and Parker 1967، مورجان Morgan 1968 ولى بيكون Le Pichon 1968 على قبول الصياغة النظرية وتطور مفهوم حركات الألواح.

الفكرة الأساسية هى أن طبقة سطح الأرض الصلبة (ليثوسفير) تقاس من تحطيم قوى فقط نسبيا على طول خط تحرك الأحزمة الضيق. هذه الأحزمة المكونة من نتوءات وأخاديد والمترابطة بالفوالق المتحولة (مضربية الإزاحة) تقسم المحيط القارى (ليثوسفير) إلى عدد من الطبقات الصلبة، كتل زلزالية "ألواح" والتى لاتعانى تحطيم داخلى كبير، تكون الحركة النسبية بين الألواح ذات أهمية خاصة، كما أن هذه الحركة هى السبب الرئيسى لنشاط تكتونية الأرض، وهناك ثلاث أنواع ممكنة من حواف الألواح:

(i) إنشاء أو تباعد الإتصالات، حيث تتكون قشرة أرضية جديدة كألواح متحركة متباعدة (قمم منتصف المحيط).

(ii) هدم أو تقارب الإتصالات، حيث تتقلص القشرة (أحزمة ثنيات جبلية جديدة) كألواح يقترب كل للآخر، أو استهلاك لوح يدفع تحت الآخر (أخاديد محيطية).

(iii) محافظة أو إتصالات قصية (أو فوالق متحولة (مضربين الإزاحة))، حيث تنزلق الألواح أفقيا سالفة كل للآخر، وتحفظ القشرة.

تستخدم هندسة حركة اللوح على الكرة الأرضية كالآتى: إذا تحركت كتلتان بعيدان عن بعضهما، فيمكن وصف حركتهما النسبية كدوران أحداهما بالنسبة للأخرى، أو دوران الكتلتين فى إتجاه معاكس. ربما يتأكد قطب التباعد أو الدوران (لاتكون مختلطة أو مضطربة مع قطب الدوران الداخلى للأرض) تبعا لحركة فتح نتوء المحيط فى طريقتين.

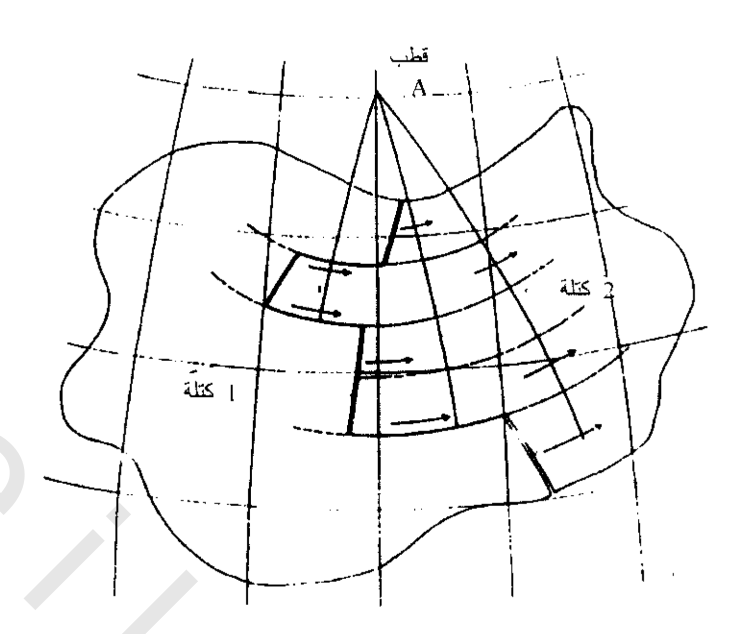
(i) حيث أن فوالق التحول (مضربين الإزاحة) التى قطعت النتوء تمثل إتجاه التباعد من محور النتوء، فإن مثل هذه الفوالق يجب أن تقع على دوائر خطوط عرضية صغيرة من مركز قطب التباعد A شكل (-4 12). من وجهة أخرى، الدوائر الكبيرة المتعامدة على فوالق مضربية التحول يجب تقاطعها عند قطب التباعد.

(ii) معدل التباعد (سرعة الحركة النسبية) عند النقطة على طول النتوء تتغير طالما جيب تمام الزاوية لخط العرض ïλ¡ تتناسب لقطب التباعد A، وبذلك يكون معدل التباعد صفر عند A (حيث λ = 90°) وعظمى عند مكان النتوء التى تقطع خط الإستواء المرسوم حول القطب A.

بينما يحدد معدل التباعد من تحديد أزمنة الإنعكاسات المغناطيسية (كرونولوجى) المعروفة جيدا، فإن مراكز الدوران تحدد بواسطة إحدى الطريقتين السابقتين المتوافقتين تقريبا جيدا (جدول 12-1). وقد وجد أن معدل دوران زوايا الكتل فى هذه الطريقة تكون من رتبة 1° أو أقل لكل مليون سنة.

3.2.12 ألواح سطح الأرض الكبيرة Major Plates of the Earthís Surface:

لمواجهة نشاط تكتونية الكرة الأرضية قسم لى بيكون Le Pichon 1968 سطح الارض إلى ستة ألواح كبيرة والتى يوجد بينها تأثيرات، وذلك من نظام سيزمية الأحزمة النشطة المحيطة بالعالم كما فى شكل (12-5). بعد ذلك ذكر أثنى عشر لوحا بعد إضافة 6 ألواح إضافية لنموذج مورجان Morgan 1971. يلاحظ التوافق القريب لحدود الألواح مع توزيع نقط المركز الزلزالية. يرى فى شكل (2-26) اتجاهات الحركات النسبية عند



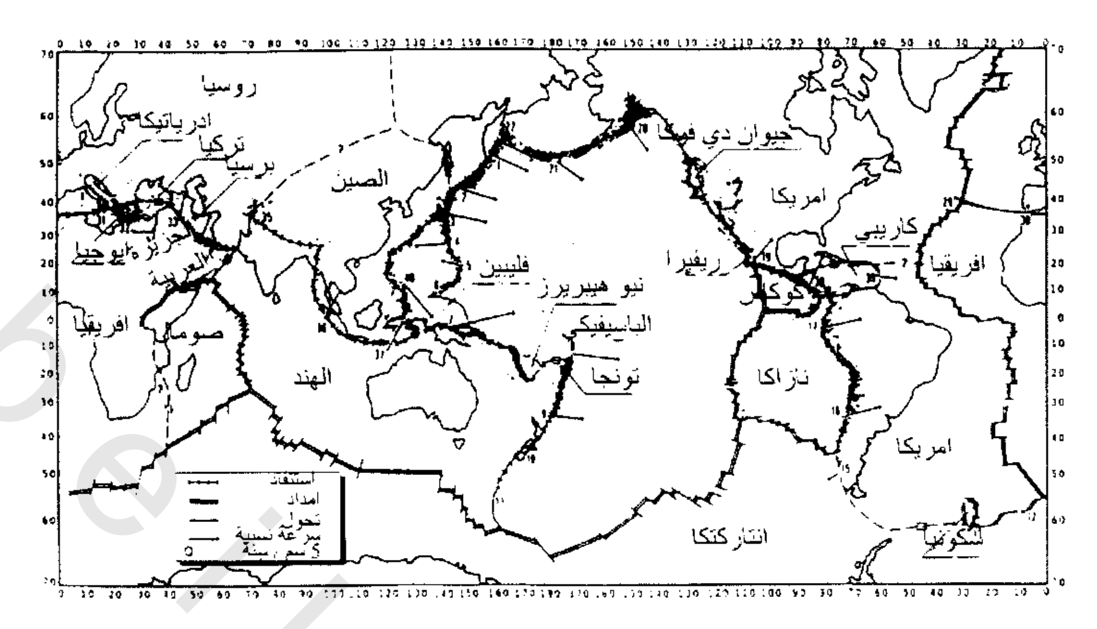
شكل (12-4): علاقات هندسية ترى دوران الواح النتوءات حول (قطب التباعد) (مورجان Morgan 1968)

جدول (12-1). أقطاب لحظية ومعدلات دوران بين أزواج مختلفة من ألواح متجاورة محددة بواسطة (لى بيكون Le Pickon 1968) لنماذج ستة ألواح*.

الزوج اللوحى والمعاملات المستخدمة	خط عرض	خط طول	معدل الدوران (10^{-7} درجة/سنة)
جنوب الأطلنطى (أمريكا – أفريقيا) خط مضرب لـ 18 منطقة تشققات 9 معدلات تباعد	58 شمال 69 شمال	37 غرب 32 غرب	3.7
شمال الباسيفيكى (أمريكا – باسيفيك) خط مضرب لـ 32 منطقة تشققات	35 شمال	47 غرب	6.0
المحيط الهندى (أفريقيا – الهند) خط مضرب لـ 5 مناطق تشققات	26 شمال	21 شرق	4.0
المحيط الأركنتيكى (أمريكا – إيوراسيا) خط مضرب لـ 4 مناطق تشققات	78 شمال	102 شرق	2.8
جنوب الباسيفيكى (انتراكيا – ساسيفيك) خط مضرب لـ 6 مناطق تشققات 11 معدل تباع	70 شمال 68 جنوب	118 شرق 123 شرق	10.8

يرى فى شكل (2-26) اتجاهات الحركات النسبية عند نقط قليلة. يقع معدل الحركات النسبية بين 1، 10 سم/سنة، ولذلك تعطى معدل تباعد من 0.5-5 سم/سنة لكل جانب نتوء. بواسطة معدل التباعد، يعرف نصف معدل التباعد للوحين، ويفرض أن التباعد له تماثل جانبى والذى أويد بواسطة تسجيلات تباعد أرضية المحيط.

* القيم المصححة لأقطاب الدوران ومعدلات الدوران موضوعة على أساس نماذج إثنى عشر لوحا المعطاه



شكل (12-5): نموذج كاتيماتيكى للوح إتساع العالم الحاضر. تشير النقط الصغيرة لنقط فوق البورة الزلزالية ، والخطوط المحيطية غير السوية للحواف الحاضرة لحركة الألواح. بالإضافة لست الألواح الكبيرة (أفريقيا – أمريكا – الباسيفك – انتاركتكا – الهند – أيورسيا) المستخدمة بواسطة لى بيكون Le Pichon 1968 ، سميت عدد من الألواح الصغيرة بواسطة مورجان Morgan 1971. تبقى حواف الألواح الصغيرة خارج العمل فى بعض المناطق المعقدة. ترى متجهات حركات مختلفة عند نقط مختارة (لى بيكون وآخرين Le Pichon et al 1973)

4.2.12 دلائل سيزمية لنموذج لوح ليثوسفيرى (المحيط اليابس)

Seismic Evidence for the Lithosphere Plate Model:

أمدت السيزمولوجية تعضيد مقنع لتوطيد تباعد أرضية البحر وحركات الألواح. فى الحقيقة، كما برهن من شكلى (2-26)، (12-5) قصور حدوث الزلازل غالبا على حواف الألواح المفترضة حيث تحدث الحركات النسبية. حدد أساكس وآخرين Isacks et la 1968 اتجاهات متجهات الإنزلاق من دراسة الحركة الأولى لبؤر زلزالية ضحلة على طول نشاط أحزمة زلزالية. تبعا لملاحظة جيدة مع حركة الإتجاهات لشكل (12-5) استخرجت الإتجاهات التى حددها أساكس وآخرين Isackes et al بواسطة لى بيكون وآخرين LePichon et al من إتجاهات المناطق المشققة ومتجهات لحركات متباينة.

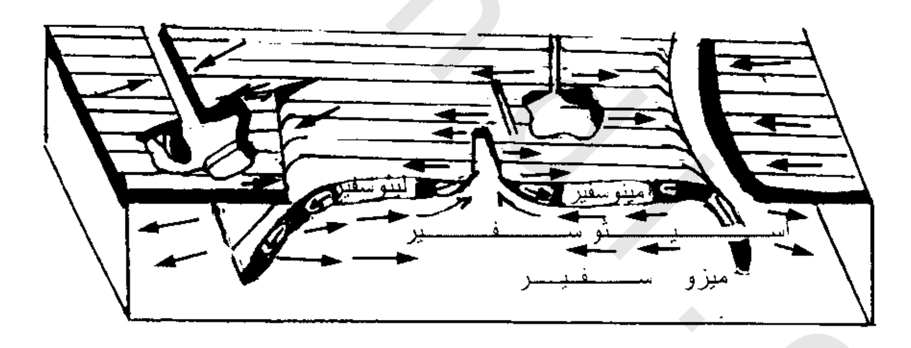
قدمت الدراسات السيزمولوجية أحسن الأدلة لسمك الألواح، حيث تعتمد سرعة الموجات السيزمية على الكثافة وخواص المرونة للصخور التى تمر بها. تتميز الطبقة الصلبة بالسرعة العالية والنقل الكافى للموجات السيزمية، أما فى الطبقة الضعيفة أو اللينية، فإن السرعة القصية تأخذ قيمة منخفضة وتضعف الموجات السيزمية بشدة. ويجب التذكر بأن سرعة الموجات القصية تبدأ فى الإقلال تحت سطح حوالى 70 كم تحت المحيطات وحوالى 120 كم أو كثر تحت القارات شكل (2-20). هذا أدى للإقتراح بأن الطبقة الصلبة الخارجية سمكها حوالى 70-120 كم (ليثوسفير lithosphere)* تقع فوق طبقة أضعف وأسخن (أثينوسفير Asthenosphere)** والمحتمل تكوينها للألواح.

* الميحط اليابس (القشرة الأرضية).
** نطاق الإنسياب الذى يلى القشرة الأرضية (الغلاف المائع)

عند أى معدل تدل هذه الأشكال على أن الألواح رفيعة بالمقارنة لأبعادها الأفقية. مثل هذه الألواح يجب أن تكون أسفل امتداد طبقى لين وقابل للسحب والتطريق إذا تحركت بدون تمزق أو انفصال.

يوضح شكل (12-6) شكل هندسى تخطيطى كتلى للظواهر الأساسية لحركة الألواح، حيث يرى هذا الشكل الهندسى حركة الألواح بعيدا عن نتوءات منتصف المحيط وتتجه أسفل الأزثينوسفير عند الجزر القوسية. أمد البرهان المعضد لانحدار ألواح الليثوسفير بواسطة حدوث بؤرات زلزالية عميقة على طول نطاق بنوف Benioff المائل شكل (2-27). يرى الإنسياب العائد المعادل لحركة الإتجاه السفلى لليثوسفير فى الأسثينوسفير بارتفاع عند قمم النتوءات. الآن، من الإنسب أن مصطلحات "الأنحراف القارى" تباعد قاع المحيطات تكون غير ملائمة فى الألواح النموذجية المفردة الشاملة لكلا من القشرة المحيطية والقارية، بالرغم أن قليل منها يكون كلية محيطيا.

حيث أن سمك القشرة المحيطية حوالى 35 كم، بينما سمك الألواح حوالى 100 كم أو أكثر، لذلك تمتطى القارات كمسافرة على الألواح. تجيب هذه الحقيقة على أحد الإعتراضات التقليدية للإنحراف القارى، التى تسمى، الصعوبة الميكانيكية لطريقة حرث القارة عبر نتوء أرضية المحيط الصلبة. تتحرك القارات والمحيطات تبعا لوجهة نظر حركة الألواح كأجزاء بنفس صلابة الألواح. مع ذلك تفرض ضوابط هامة معينة على حركة الألواح للقارات والمحيطات غير المتشابهة. تدل الحدود الضيقية المعرفة بالأخاديد ومناطق الزلازل المائلة المنحدرة بعيدا عن الأخاديد على أن القشرة المحيطية تبدد بسهولة بواسطة السحب، ربما بسبب رفعها نسبيا وكثافتها



شكل (12-6): شكل هندسى كتلى يوضح تخطيطيا ترتيب شكل ودور الليثوسفير (طبقة شد) فىترجمة التكتونية العالمية الحديثة. تدل الأسهم أعلى الليثوسفير على الحركات النسبية للكتل المتجاورة. وتمثل الأسهمر فى الأسثينوسفير الإنسياب المتعادل المحتمل فى تجاوب لحركة الإتجاه السفلية لقطع الليثوسفير (أساكس وآخرين Isacks et al 1968)

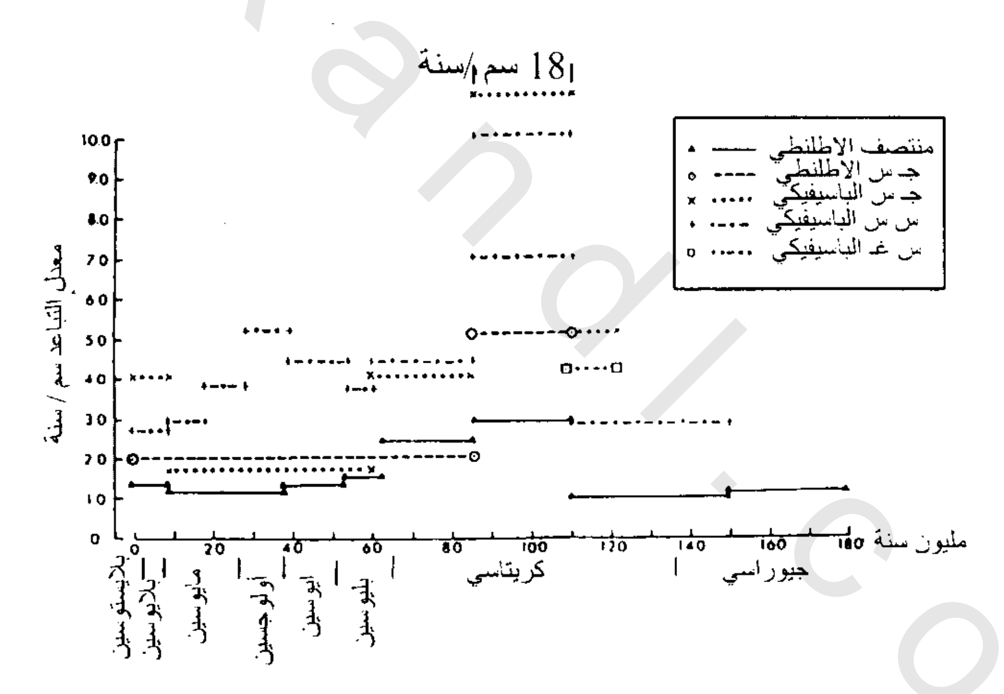
العالية. من وجهة أخرى، تظهر مناطق داخلية القارات السيزمية المصاحبة مع سلاسل الجبال تحطم تضاغطى عبر مساحات شاسعة، والتى فيها ضمنيا تكون القشرة القارية صلبة للاستنفاذ لأنها سميكة نسبيا وخفيفة.

5.2.12 إعادة بناء الألواح القديمة Paleophate Reconstructions:

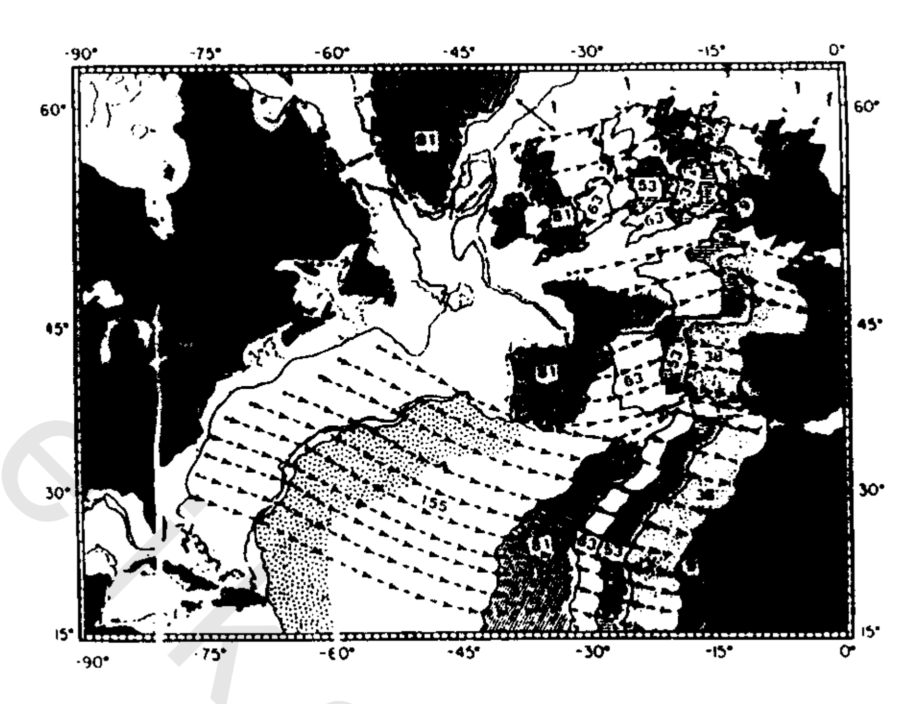
إبتداء من البيانات الحاضرة عن معدل دوران الأقطاب، يكون من الممكن الرجوع لخلفية الزمن الجيولوجى للإشارة لأماكن الألواح النسبية. أمتداد هذه الخلفية موضوع غالبا على أساس معدل الحسابات واتجاهات الأبعاد التى حصل عليها بواسطة تحليل أشكال شاذات المغناطيسية المرصودة للزمن القديم فى محيطات مختلفة (شكل 12-7).

يرى شكل (12-8) مثال إعادة مثل هذا البناء لفتحة شمال الأطلنطى. تشير الأسهم لإتجاهات حركة قارتى أفريقيا وأوربا النسبية بالنسبة لأمريكا الشمالية. من الواضح من خطوط الإنسياب لدوران أقطاب أوربا-أمريكا الشمالية وأفريقيا-أمريكا الشمالية مختلفة. كذلك يلاحظ أن التغيرات فى إتجاه التباعد يبدو حدوثه منذ حوالى 60، 80 مليون سنة. تشير الخطوط المشرطة المشرطة لأمن ذو بال: 1) تباعد أفريقا وشمال أمريكا غالبا بين 80-180 مليون سنة، بعد ذلك مثل معدل التباعد، 2) تباعد أوربا عن أمريكا الشمالية غالبا فى آخر 80 مليون سنة وتشمل مرحلتى حركة الجرين لاند Green land (الأسهم المزدوجة شكل 12-8). عامة، توافقت إعادة الحركة جيدا مع الملائمة الهندسية للقارات عبر الأتلانتك شكل (12-9).

وحيث أن تسجيل الشاذة المغناطيسية لتباعد أرضية المحيط ترجع خلفيا لأزمنة الجوراس فقط (~160 مليون سنة)، لذلك لايمكن إستخدام تباعد أرضية المحيط لإعادة بناء تأرخ لوحى متقدم. ولكن إذا أريد تأرخ لوحى متقدم، يعاد لفترات متقدمة موضوعة أساسا على مطابقة أقطاب المغناطيسية القديمة وتجمعات صخرية معينة (تجمعات بداية تكتونية) التى تميز الحدود أو تركيبات داخلية لنوعية اللوح المراد تأرخه. وهذا يؤدى لأخذ فكرة بسيطة عن أن أحزمة جبال عديدة لها مناطق من أوفيوليت Ophiolite معقدة والتى فسرت على أنها تمثل



شكل (12-7): معدل التباعد فى المحيط الأطلنطى والباسيفيكى حصل عليه من تحليلات خطوط شاذات المغناطيسية. يلاحظ زيادة علامة معدل التباعد لجميع الأنظمة عند 85-110 مليون سنة قبل الميلاد (لارسون وبتمان Larson and Pitman 1972) مع مراجعة مقياس الزمن لهرتزلير وآخرين Heirtzler et al 1968، هذه المعدلات روجعت أيضا فى السنين الحديثة



شكل (12-8): إعادة تركيب تباعد أرضية المحيط لشمال المحيط الأطلنطى (بتمان وتلوانى pitman and Talwani 1972) تمثل القارات السوداء الأماكن الحاضرة، تدل الأماكن الأولية بواسطة أزمنة بمليون من السنوات ترى الأسهم الطويلة مرحلتين لحركة الجرينلاند

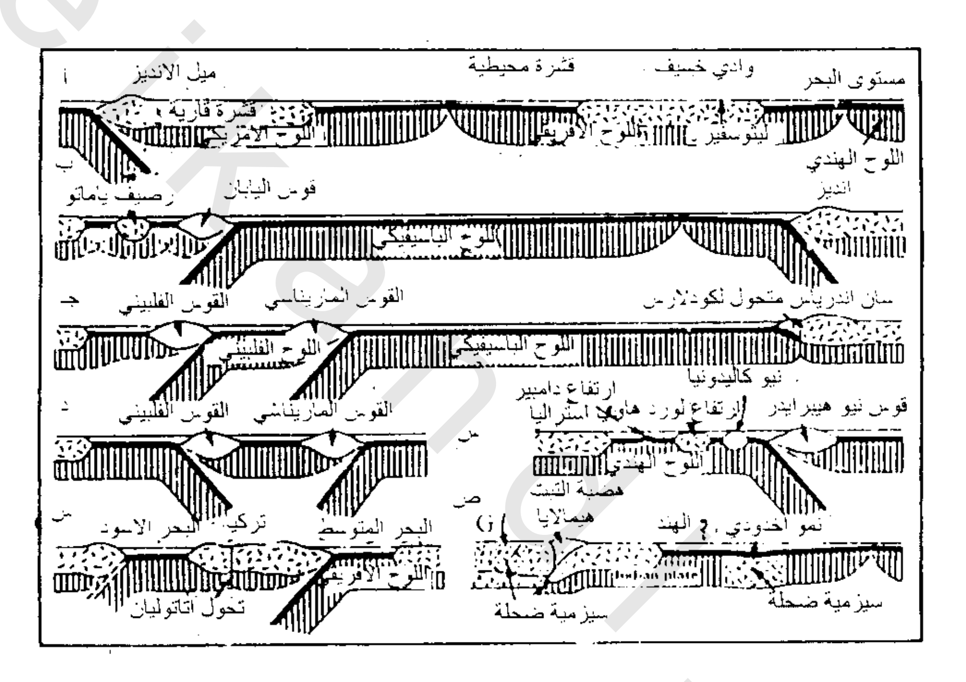


شكل (12-9): تلاؤم القارات حول الأطلنطى حصل عليها بواسطة تناسب المربعات الدنيا عند خط عمق 500 قياس بحرى (القياس البحرى Fathom = 6 قدم = 1.982 متر) تمثل المساحات الغامقة تناسب خاطئ (بيولارد وآخرين Bullard et al 1965

قطع من القشرة المحيطية القديمة والستار العلوى والمعروف وضعها التكتونى. وإذا كان كذلك، فإن مناطق الأوليوليت القديم تشير لمناطق اختفاء أرضية المحيط، مثل التى فى نطاق الألب Alpine – هيمالايا Himalyayan. لذلك يظن أن جبال اليورال Ural تكونت بواسطة خط الباليوزوى المتأخر القريب بين أوربا وسيبريا، ومنطقة طيه أبلاشيان Applachian – كالدونيان Caledonian بواسطة التقارب للأطلنطى القديم.

6.2.12 نماذج تكتونية ألواح نشوء الجبال Plate Tectonic Models of Orogeny:

فى العشرات السنين الأخيرة وجهت مجهودات كثيرة لإتجاه تطبيقات تكتونية الألواح لتوضيح دورات نشوء الجبال التى أدت لتكوين أحزمة جبالية مختلفة. أقترح ديوى وبرد Dewey & Bird 1970 إمكانية أربع أنواع من تفاعل بين حواف القارات والمحيطات. يعطى شكل (12-10) أمثلة حاضرة اليوم لكل من هذه الحالات الأربعة:



شكل (12-10): قطاع تخطيطى يرى بعض العلاقات المفروضة بين المحيطات، جزر قوسيه والقارات عبر مناطق مسحوبة (ديوى وبرد Dewey and Bird 1970)

i- تصادم أرضية محيطية مع قارة Ocean floor-continent collision: تكون بهذا التصادم حزام جبل كوردلران (أنديز) Cordilleran (Andes) بواسطة دفع سفلى من لوح الباسيفيك الشرقى (نازكا Zazca) أسفل اللوح الجنوبى الأمريكى (أ، ب). توضح إزدواجية نظام السحب فى الباسيفيك الغربى (ج، د) استهلاك اللوح الفيليبينى تحت الحافة اليورسياويه Eursian.

ii- تصادم أرضية محيطية مع جزيرة قوسيه Ocean floor-isoland arc collision: على طول حافتها الغربية فإن اللوح الباسيفيكى يهبط أسفل قوس اليابان (ب).

iii- تصادم قارى مع جزيرة قوسية Continent island arc collision: يمثل هذا اقتراب القارة الاسترالية (حزء من اللوح الهندى) من نطاق هبوط هبردس الحديث New Hebrides).

iv- تصادم قارى –قارى Continent-continent collision: يمثل هذا الدفع السفلى للوح الأفريقى اسفل تركيا، أناتوليا Turkey Anatolia (س) وتصادم اللوح الهندى مع الأيورسياوى لتكون جبال الهمالايا وهضبة التبت (ص) برغم أن كثير من التفصيلات باقية خارج العمل، فإن القطاع التخطيطى شكل -10) (12 يعطى إدراك للعمليات الأصلية التى حدثت عند حواف الألواح.

7.2.12 نشوء الجبال بواسطة تجمع لوحى دقيق :Orogenesis by Microplate Accretion

عرف الجيولوجيين لسنوات وجود كثير من أجسام دخيلة (غريبة) فى تجمعات كتلية فى حزام جبال الألب-هيمالايا Alpine-Himalaya حديثا، عرفت أيضا أعداد كبيرة من أجسام دخيلة فى أحزمة جبال حول الباسيفيكى (Circum Pacific). يتوقع أولا أن هذه الأجسام (عامة تشير كأنها تربة) تكونت عندما كانت الحفريات أو تجمعات الصخور مختلفة الدلالة عن المناطق المجاورة.

يعتبر شمال غرب أمريكا حزام تراكمى هائل من الترب (كونى وآخرين Coney et al 1980)، (جونيز وآخرين Jones et al 1982)، حيث انتقلت كثير من الترب عبر مسافات كبيرة قبل إتمام شكلها الحاضر. تم تقدير حركتها العرضية ودوراتها خلال وبعد التصادم من قياسات المغناطيسية القديمة. تربة ورانجيليا (Warangellia) مثال خاص لافت للنظر. ترى الصخور التى حصل عليها من جزيرة فانكوفر Vancouvar فى كولومبيا البريطانية بكندا British Columbia-Canada ومن جبال ورانجيليا – ألاسكا Wrangellia-Alaska أن عينات صخور كلا الموقعين (مفصولين الآن بحوالى 555 كم) تكونا أصلا بالقرب من خط الإستواء فى زمن الترياسى.

إقترح شامبيرليا ولامبرت Chamberlain and Lambert 1985، على أساس القياسات الحديثة للمغناطيسية القديمة ودلائل الجيولوجيا الحقيلة لعلاقة الترب الدخيلة فى غرب كوردبلليرا الكندى Candian) (Cordillera، وجود قارة دقيقة كورديلليرا (Cordillera) والتى تصادمت مع راسخ* أمريكا الشمالية منذ حوالى 100 مليون سنة لتكون أولا جبال ماكينزى Mackenzie ثم جبال روكى Rockies.

فى المقابل بغرب أمريكا الشمالية، يعتقد بواسطة كثيرين أن عدد كبير من تجمعات أرضية فى سلسلة الألب-هيمالايا Alpine-Himalya كانت فتاتات والتى جاءت من بداية قارة جوندوانا Gondwana (جيلى Gealy 1977، ليث Leith 1982). إنفصال أشياء كثيرة من جندوانا (Gondwana) والتصادم مع طول كتلة أرضية ايروسيان (Euroasian) قبل الكسر، أدى هذا لتكوين الهند، استراليا، أفريقيا وأمريكا الجنوبية. فى كل مكان تام لسلسلة الألب. هيمالايا، يوجد ترب قارية عديدة، تتراوح فى الحجم من شبه قارية كالهند إلى قطع صغيرة كما فى تركيا والبلقان (Bulkans) وإيطاليا.

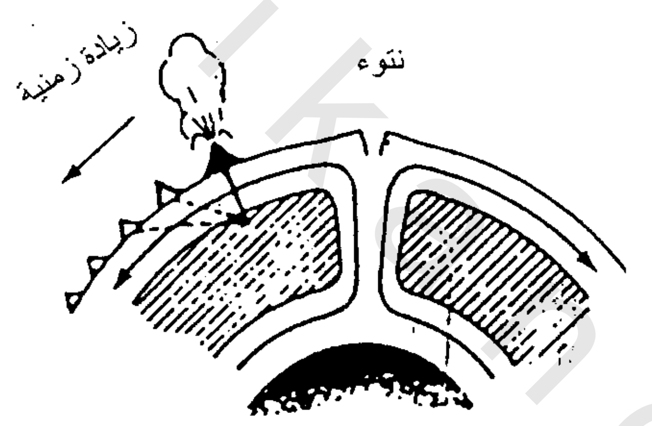
8.2.12 البقع الحارة وحركات الألواح المطلقة :Hot Spots and Absolute Plate Motions

فسرت نظرية تكتونية الألواح موقع ومسبب أغلب الزلازل والبراكين، ونشاط بناية الجبال، جميعهم مصاحبين مع حواف الألواح. ربما، يوجد عدة إستثناءات لافتة للنظر مثل حدوث أنشطة تكتونية بعيدة عن

* جزء من القشرة الأرضية يشمل أجزاء قارية ومحيطية.

حواف الألواح. المثال الملاحظ هو سلسلة جزر هاوى Hawaiian حيث حلق الإمتداد البركانى سلسلة جبال بالقرب من مركز أحد أكبر الألواح. يمكن حدوث مثل هذه الظاهرة "منتصف اللوح" أيضا فى مناطق قارية، كدلالة بواسطة الأحواض القارية ونطاقات نشاط زلزالى. مثال ذلك، يوجد فى الولايات المتحدة نطاق زلزالى كبير مركز بالقرب من نيومادريد New Madrid ربما، تعتبر هذه وظواهر أخرى تقريبا تناسب صغير للنشاط التكتونى الأرضى (الكرة الأرضية) ولكن لايكون بواسطة معانى لايعتد بها وتكون من الصعوبة استبعادها كمحليا.

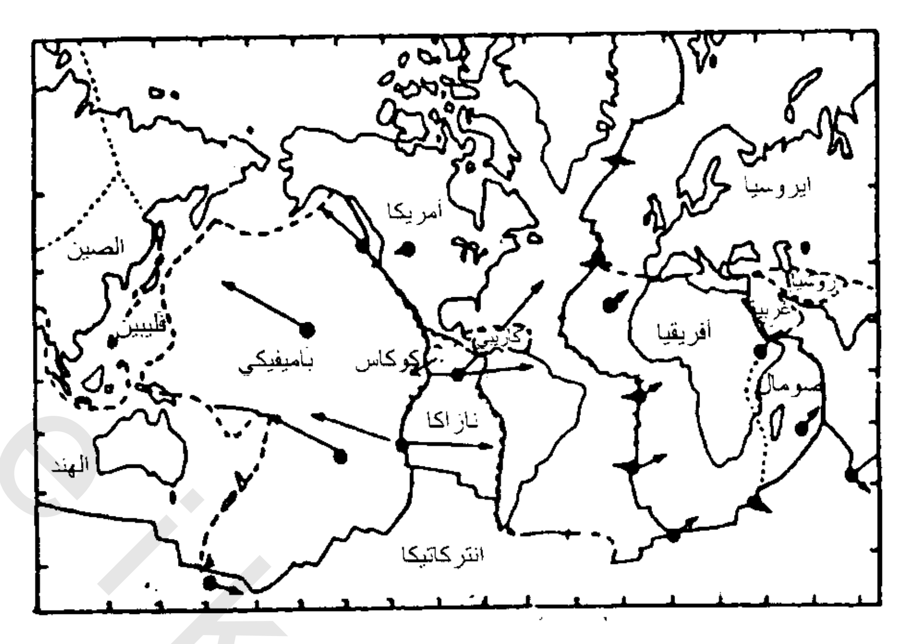
أعزى ولسون Wilson 1963 جزر هاواى البركانية لارتفاع من الماجما من بقعة حارة ثابتة تقريبا فى الستار العلوى. وأدت حركة إتجاه الغرب من لوح الباسيفيكى عبر مصدر الماجما فى تكوين سلسلة الجزر والتى أصبحت تقريبا أقدم من الشرق للغرب



شكل (12-11): مخطط لنموذج لتركيب جزء سلسلة هاواى بواسطة حركة لوح عبر منطقة مستقرة حراريا (ويلسون Wilson 1963)

فى الحقيقة، إذا كان مصدر الماجما ثابت (بالنسبة لصلابة وعمق الستار)، فإن طول وعمر سلسلة الجزر يجب أن تعطى الحركة المطلقة للوح. عندما تحدث مثل هذه البقعة الحارة تكون على نتوء تباعد نشط، مثل أيسلاند Iceland، وهى سلسلة جزر بركانية أو جبال بحرية تكونت على كلا جانبى النتوء بسبب الحركة الجانبية للألواح كل عن الآخر.

فيما بعد طور مورجان Morgan 1972 اساس استخدام هذه البقع كمرجع إطار عالمى ووضح أن السرعات (المطلقة) لحركات الألواح خلال السينوزوى تحدد كما فى شكل (12-12). هذه الحركات المطلقة تكون فى تبعية مع الحركات النسبية الكافية بين الألواح الكبيرة، وخلال حالة الحدود المتقاربة التى فيها تكون البقع الساخنة المفترضة ثابتة بالنسبة كل للآخر وإلى الستار. تبعا لولسون Wilson 1973، فإن أعداد كبيرة من البقع الحارة ميزت بواسطة البركانية، إنسياب حرارى كبير، تقبب (نتوء قشرية أرضية وتعبيرات سطحية لمتغيرات أشكال ريشية مرتفعة فى الستار. أخذ مرجان Morgan هذه الفكرة كخطوة مساعدة مع تمعنه بأن البقع الساخنة حفظت بواسطة نوعا من التفجير المحلى لمواد التسار فى أشكال ريشية ومن الممكن أن تمد حرارة الحمل الريشية القوة البدائية لحركة الألواح.



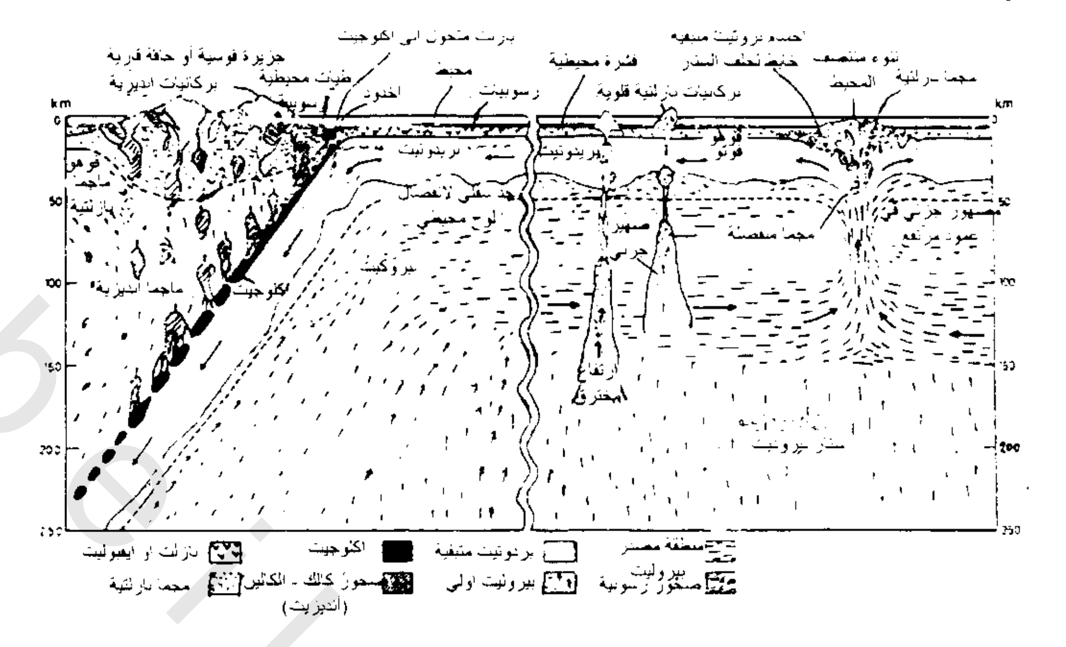
شكل (12-12): حركات حاضرة للألواح الكبيرة عبر إطار مناطق حرارية ثابتة (مورجان 1972 Morgan)

9.2.12 دفع ميكانيكيات حركة الألواح Driving Mechanisms for Plate Motions:

يستمر السبب الأساسى لحركة الألواح باق كموضوع تأمل برغم الدلالات الكبيرة فى مجال تكتونية الألواح. عامة، عندما يوجد وفرة من البيانات فى بحث النظرية، فإن هذا يؤدى لتقدم الإفتراضات. عموما. اقترح نوعين من القوة، 1) قوى الحواف المؤثرة عند حواف اللوح، 2) القوى الأساسية المؤثرة عند داخل قاعدة اللوح. يشمل النوع الأول تاثير قوة دفع نطاقات التباعد حيث تدفع الألواح على حدة بواسطة أندساس مواد جديدة، وقوة سحب الصفيحة فى نطاقات السحب حيث يسحب التكاثف النسبى الصفحى السفلى اللوح خلفه شكل (12-13). يكون النوع الثانى من القوة هى الإجهاد بواسطة تيارات الحمل اسفل القشرة الأرضية.

توجد دلالة هامة من الجاذبية والزلزالية حول الدفع بواسطة ضغط النتوء عند نتوءات متوسطات المحيطات وبواسطة سحب صفائحى عند الأخاديد العميقة، ولكن هذه الدلالة تعتبر مقارنة قليلة المعرفة حول القوى الأساسية المصاحبة مع تيارات الحمل فى الستار العلوى. إذا تحركت تيارات حمل الستار أسرع من اللوح الذى يعلوها، عندئذ سوف يؤثر سحب جهد اللزوجة بواسطة حركة الستار السريعة لدفع حركة اللوح. فى المقابل إذا تحرك اللوح أسرع من الستار سيؤثر سحب اللزوجة المسبب بواسطة اختلاف الحركة لمقاومة حركة اللوح. ظاهريا، لايوجد نقصان لقوى الضغط الممكنة، ولكن يكون الشئ المحير للمشكلة. أى من القوى الفوقية (الزائدة) تكون أكثر سيادة من الأخريات؟

النموذج البسيط من تيارات الحمل الحرارية داخل الستار (10-5) تكون مع نزوح القارات أو أرضية المحيط إزدواج مباشر لجوانب الطيات العلوية لحجيرات تيارات الحمل تحتها، ويكون التوافق صعبا مع ملاحظة نموذج لحركات الألواح الحالية. مثال ذلك، يكون من الصعب مواجهة كيفية كلا من إرتفاع وهبوط جوانب تيارات الحمل، التى تزاح فجأة بواسطة فوالق متغيرة (متحولة). الشكل الهندسى للنتوء-نتوءات فوالق التحول فى

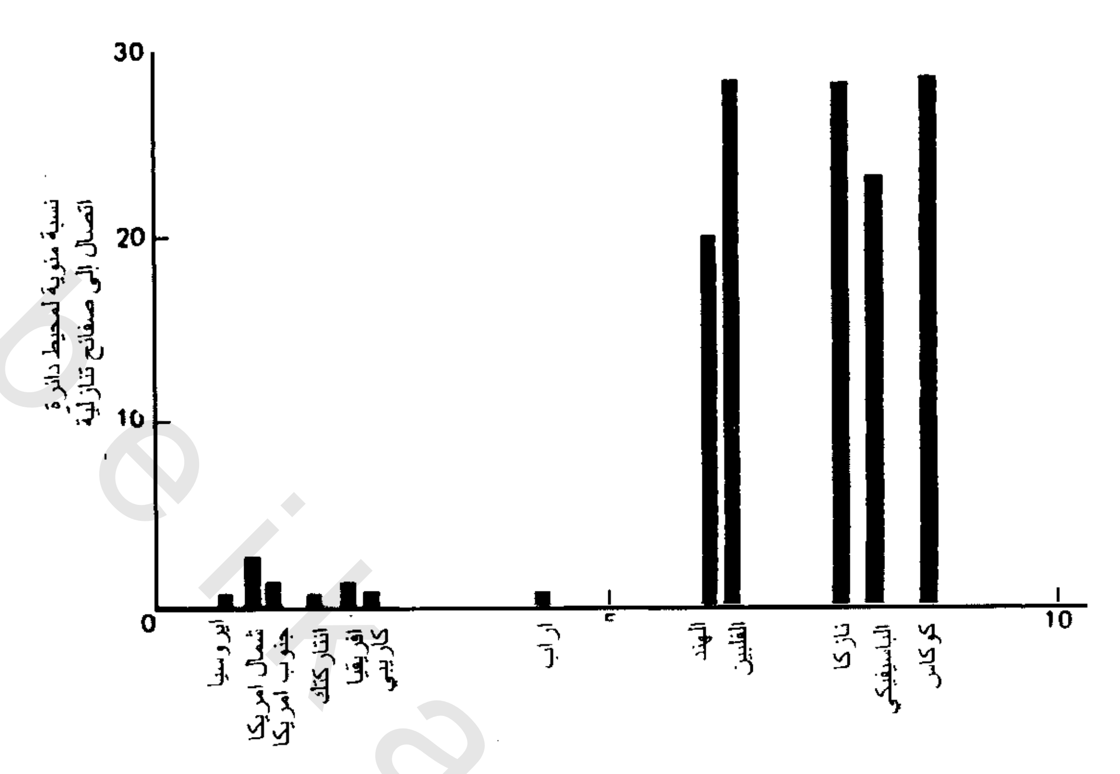


شكل (12-13): نموذج صخرى لتباعد أرضية محيطية ونظرية الإنسحاب. عمق الإنسياب المرتد الذى يرى بواسطة الأسهم فى وسط الشكل (غير معروف) (رنجوود Ringwood 1974)

الأطلنطى الإستواءى المستخدم فى تفسيرها حجيرات تيارات الحمل تكون غير قابلة للتصديق عند مقارنة محصورة لإمتداد أطواله وأعماقه.

أيضا، من الصعب رؤية كيفية إستطاعة نموذج الحجيرة البسيطة لتوضيح سلوك اللوح الإفريقى شكل (12-5) الذى يكون الجزءالغالب مرتبط بواسطة نتوء منتصف الأطلنطى والنتوء فى المحيط الهندى. هذا اللوح ينمو على كلا الجانبين، وحيث لايوجد أخدود متوسط، لذلك يتحرك النتوئين بعيدا عن بعضهما. ومن الصعب تخيل أن إرتفاع جوانب الطيات لحجيرات تيارات الحمل يحفظ سرعة السير بالضبط مع حركة النتوءات. لذلك لاتمثل تيارات حمل الستار كوظيفة قوية لقوة دفع.

حتى الآن، تمت اختبارات قليلة لتاسيس القيم النسبية لقوى الدفع الممكنة. إحدى هذه التقريبات تقدير "مطلق" لسرعات الألواح بواسطة حركة الألواح النسبية إلى "البقع الساخنة" الثابتة شكل (12-12). عمل فورسيث ويودا Forgth and Yyeda 1975 تحليلات للعلاقة بين السرعة المطلقة، ومساحة أساسية، وابعاد حواف الألواح ، فوجدا صلة قوية بين السرعة المطلقة للوح وطول حافته التى سحبت شكل (12-14). أدت هذه الصلة لاقتراح بأن قوة الدفع الكبيرة تكون لسحب الصفحية، ويكون دفع النتوء وسحب الستار نسبيا أقل أهمية. وهذا لايؤدى للقول أن القوى الأخرى مهملة، وذلك لتواجد ألواح (مثل أفريقيا وأنتاركتيكا) التى ترى حركة نسبية مع أنها صغيرة أولا تسحب حافة. سلما هذين الملفين بأن تيارات الحمل فى نطاق الإنسياب الذى يلى القشرة الأرضية (الغلاف المائع اسثينوسفير Asthenosphere) لاتكون خارج سيطرة كتأثير تحكمى، ولكن تكون هامة نسبيا بالمقابلة لقوة دفع النتوء حيث تكون صعبة المصاحبة. مع ذلك مازال السؤال قائم عن النسبية الهامة للقوى التى تحرك الألواح.



شكل (12-14): النسبة المئوية لألواح محيطية دائرية متصلة لإتجاه سفلى صفائحى مقابل السرعة المطلقة للألواح (فورسيث ويودا Forsyth and Uyeda 1975)

الملاحق

ملحق (1) جداول

أ- جدول تحويل نظام الوحدات العالمية (SIU) الى وحدات (سم.جم.ث) أو وحدات كهرومغناطيسية (سم.جم.ث)

نظام وحدات عالمية			المكافئ التابع فى (سم.جم.ث) أو وحدات كهرومغناطيسية (سم.جم.ث)
كمية	اسم تميزها	رمز	
كتلة (ك)	كيلوجرام	كجم	10^{3} جم
طول (ل)	متر	م	10^{2} سم
زمن (ن)	ثانية	ث	ث
العجلة (جـ)	متر/ثانية^{2}	م/ث^{2}	10^{2} جال= 10^{2} سم/ث^{2}
وحدة فرعيةالجاذبية	وحدة الجاذبية	و.جـ= μم/ث^{2}	10^{-1} ميللي جال
كثافة (ث)	كيلوجرام/متر^{3}	كجم/م^{3}	10^{-3} جم/س^{3}
قوة (ق)	نيوتن	كجم/م^{3}	10^{5} داين
ضغط (ض)	باسكال	با= م^{2}/ن	10 داين/سم^{2} = 10^{-5} بار
لزوجة (ز)	باسكال . ثانية	با.ث	10 بيوز (توازن)
طاقة (ط)	جول	چ	10^{7} إرج = 0.24 كا
قدرة (قد)	وات	و= چ/ث	10^{7} إرج/ث
انسياب حراري (نح)	وات/متر^{2}	و/م^{2}	2.39 μ كا/سم^{2}.ث
الموصلة (حرارة) (مو)	وات/متر. درجة حرارة	و/م^{5}	$2.39×10^{-3}$ ك/سم.ث.ء°
منتج حراري (مح)	وات/متر^{3}	و/م^{3}	$2.39×10^{-7}$ ك/سم^{3}.ث.ء°
تيار (ت)	أمبير	أ	10^{-1} و.ك.م
فرق جهد	ڤولت	ڤ	10^{-8} و.ك.م
مجال كهربي (مك)	ڤولت/متر	ڤ/م	10^{6} و.ك.م
شحنة كهربية (ش.ك)	كولوم	كو=أ.ث	10^{-1} و.ك.م
سعة (س)	فاراد	ف=كو/ ڤ	10^{-9} و.ك.م
مقاومة (م)	أوم	Ω = ڤ/أ	10^{9} و.ك.م
مقاومة نوعية (م.ن)	أوم . متر	Ω.م	10^{11} و.ك.م
الموصلية (كهربية) (مو.ك)	سيمن/متر أو موهو/متر	س/م (σ)	10^{-11} و.ك.م
فيض مغناطيسي (ف.م)	وبر	وب= ڤ.ث	10^{8} ماكسويل
كثافة الفيض المغناطيسى (ث.ف.م) (مجال-β)	تسلا	تسى=وب/م^{2}	10^{4} جاوس (جا)
وحدة فرعية (مجال-β)	نانو تسلا	ناتس	10^{-5} جاوس
مجال ممغنط (م.م) (مجال-H)	أمبير/متر	أ/م	10^{-3} 4π أورستد
حث	هنري	هـ=وب/أ	10^{9} و.ك.م
نفاذية مغناطيسية* (ن.م)	هنري متر	هـ/م (μ= 4 π10^{-7})	1 (لكل فراغ)
قابلية مغناطيسية (ق.م)	بدون أبعاد		π 4 و.ك.م
شدة القطب المغناطيسى (ش.ق.م)	أمبير.متر	أ.م	10 و.ك.م
العزم المغناطيسى (ع.م)	أمبير.متر^{2}	أ.م^{2}	10^{3} و.ك.م
التمغنط (تم)	أمبير/متر	أ/م	10^{-3} و.ك.م

* نفاذية الفراغ

**ماركوويتز (1973) Markowitz

كا = كالوري، كو = كولوم، و.ك.م = وحدة كهرومغناطيسية، ر = إرح

ب- جدول بيانات عددية خاصة بالأرض

الكمية	نظام وحدات عالمى (SI)	الكمية	نظام وحدات عالمى (SI)
ثابت الجاذبية	6.670×10^{-11} م^3/كجم ث^2	مساحة القارات (29% من S)	1.49×10^{14} م^2
نصف قطر خط الإستواء (a)	6378 كم	متوسط ارتفاع الأرض	480 م
نصف قطر خط القطب (c)	6378 كم	متوسط عمق المحيطات	3800 م
فلطحة الأرض	1298.25/1	كتلة الغلاف الغازى	5.1×10^{18} كجم
حجم الأرض	1.083×10^{21} م^3	كتلة المياه	1.4×10^{21} كجم
نصف قطر الكرة المساوى لحجم الأرض	6371 كم	كتلة النواة	1.95×10^{24} كجم
كتلة الأرض	5.974×2410 كجم	كتلة الستار	4.0×10^{24} كجم
متوسط الكثافة	5.515 كجم/م^3	كتلة القشرة	2.4×10^{22} كجم
الجاذبيــة عنــد خــط الإســتواء (مستوى البحر)	9.78032 م/ث^3	عزم مغناطيس ثنائى القطب	8.0×10^{22} سعه/م
مساحة السطح الكلية (S)	5.10×10^{14} م^2	المجـال المغناطيـسى الأرضــى، أكبـر قيمة سطحية	69ع= 69000 nT
مــساحة المحيطـــات - الميـــاه - (71% من S)	3.61×10^{14} م^2	متوسط الإنسياب الحرارى	81 م وات/م^2
		الفيض الكلية للحرارة الأرضية	15×10^{13} وات

جـ - جدول تحويل نظام الوحدات العالمية (SI) الى وحدات (سم.جم.ث) أو وحدات الكترومجنيتيك (سم.جم.ث)

نظام وحدات عالمية (SI)			المكافئ التابع فى (سم.جم.ث) أو وحدات الكترومجنيتيك (سم.جم.ث)
كمية	اسم تميزها	رمز	
كتلة (ك)	كيلوجرام	كجم	10^3 جم
طول (ل)	متر	م	10^2 سم
زمن (ن)	ثانية	ث	ث
العجلة (جـ)	متر/ثانية^2	م/ث^2	10^2 جال= 10^2 سم/ث^2
وحدة فرعيةالجاذبية	وحدة الجاذبية	و.جـ= μم/ث^2	10^{-1} ميللى جال
كثافة (ث)	كيلوجرام/متر^3	كجم/م^3	10^{-3} جم/س^3
قوة (ق)	نيوتن	كجم/م^3	10^5 داين
ضغط (ض)	باسكال	با= م^2/ن	10 داين/سم^2 = 10^{-5} بار
لزوجة (ز)	باسكال . ثانية	با.ث	10 بيوز (توازن)
طاقة (ط)	جول	چ	10^7 ارج = 0.24 كا
قدرة (قد)	وات	و= چ/ث	10^7 ارج/ث
انسياب حرارى (نح)	وات/متر^2	و/م^2	2.39 μ كا/سم^2.ث
الموصلة (حرارى) (مو)	وات/متر . درجة حرارة	و/م^5	2.39×10^{-3} ك/سم.ث.ءº
منتج حرارى (مح)	وات/متر^3	و/م^3	2.39×10^{-7} ك/سم^3.ث.ءº
تيار (ت)	أمبير	أ	10^{-1} و.ك.م
فرق جهد	ڤولت	ڤ	10^{-8} و.ك.م
مجال كهربى (مك)	ڤولت/متر	ڤ/م	10^6 و.ك.م
شحنة كهربية (ش.ك)	كولوم	كو=أ.ث	10^{-1} و.ك.م
سعة (س)	فاراد	ف=كو/ ڤ	10^{-9} و.ك.م
مقاومة (م)	أوم	Ω = ڤ/أ	10^9 و.ك.م
مقاومة نوعية (م.ن)	أوم . متر	Ω.م	10^{11} و.ك.م
الموصلية -كهربية- (مو.ك)	سيمن/متر أو موهو/متر	س/م (σ)	10^{-11} و.ك.م
فيض مغناطيسي (ف.م)	وبر	وب= ڤ.ث	10^8 ماكسويل
كثافة الفيض المغناطبسى (ث.ف.م) (مجال-β)	تسلا	تسى=وب/م^2	10^4 جاوس (جا)
وحدة فرعية (مجال-β)	نانو تسلا	ناتس	10^{-5} جاوس
مجال ممغنط (م.م) (مجال-H)	أمبير/متر	أ/م	4π 10^{-3} أورستد
حث	هنرى	هـ=وب/أ	10^9 و.ك.م
نفاذية مغناطيسية* (ن.م)	هنرى متر	هـ/م (μ=4 π 10^{-7})	1 (لكل فراغ)
قابلية مغناطيسية (ق.م)	بدون أبعاد		4 π و.ك.م
شدة القطب المغناطيسى (ش.ق.م)	أمبير.متر	أ.م	10 و.ك.م
العزم المغناطيسي (ع.م)	أمبير.متر^2	أ.م^2	10^3 و.ك.م
التمغنط (تم)	أمبير/متر	أ/م	10^{-3} و.ك.م

* نفاذية الفراغ

**ماركوويتز (1973) Markowitz

كا = كالورى، كو = كولوم، و.ك.م = وحدة كهرومغناطيسية، جـ = جاوس، هـ= هنرى،
با = باسكاب، ت = تسلا، س = سيمن

ء- جدول قياس الزمن الجيولوجى بأحقاب مطلقة (مليون سنة)

الأحقاب والعصور الجيولوجية	الزمن (مليون سنة)
سينوزويك (فقريات)	
الرباعي	
هيلوسين	0.1
بلايستوسين	2.0
الثلاثي	
بليوسين	5.1
ميوسين	24.6
أولوجوسين	24.9
باليوسين	65
ميزوزيك	
كريتاوى	
العلوى	89
السفلى	44
جيوراسى	
العلوى	163
المتوسط	188
السفلى	213
ترياسى	
العلوى	231243
المتوسط	248
السفلى	
الباكيوزى (اللافقاريات)	
برمى	258
علوى	286
سفلى	
كربونى	320
علوى	360
سفلى	408
ديفونى	438
سيلورى	505
أوردوفيشى	590
كمبرى	
برونيزويك	2500-590
أركى	4000-2500
	5000-4000
	3750
	4600

هار لاند وأخرين 1982 Harland etal

ملحق 2
التحليل الكروى التوافقى لمجال المغناطيسية الأرضية

يمكن استنتاج المجال المتوسط المغناطيسى الملاحظ عند سطح الأرض بواسطة عدة مصادر :-

1- مصادر داخل الأرض.

2- مصادر خارج سطح الأرض.

3- تيارات كهربية عابرة سطح الأرض.

إذا فرض أساسا أنه لا يوجد تيارات كهربية عابرة لسطح الأرض، عندئذ يمكن اشتقاق المجال المغناطيسى عند سطح الأرض من دالة الجهد، والتى تتفق مع معادلة لابلاس Laplace's equation.

$$\nabla^2 V = 0 \qquad (1)$$

ويمكن كتابة حل المعادلة (1) فى تعبيرات لسلسلة من توافق كروى فى الصورة

$$V = a\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} P_n^m(\cos)\left\{\left[C_n^m\left(\frac{r}{a}\right)^n + \left(1-C_n^m\right)\left(\frac{a}{r}\right)^{n+1}\right]J_n^m \cos m\phi\right.$$

$$\left. + \left[S_n^m\left(\frac{r}{a}\right)^n + \left(1-s_n^m\right)\left(\frac{a}{r}\right)^{n+1}\right]k_n^m \sin m\phi\ldots\ldots\ldots\right\} \qquad (2)$$

حيث θ، ϕ خطوط جيوجرافية عرضية مشاركة مع خط طول شرقى، م المسافة من مركز الأرض بفرض أنها كروية نصف قطرها a، C_n^m، S_n^m معاملات (بين 0 ، 1) والتى تمثل أجزاء من تعبيرات توافقية $P_n^m(\theta)$ جتا $m\varphi$ و $P_n^m(\theta)$ جا $m\varphi$ لأصل خارجى للأرض والمعاملات (1 - C_n^m)، (1 - S_n^m) تدل على أجزاء للفترات التوافقية المصاحبة لمصادر لأصل داخلى (r < a). يمكن تقدير المعاملات J_n^m ، K_n^m والتى لها أبعاد المجال المغناطيسى. تعبير n=0 لاتظهر فى المعادلة (2) فى غياب مصدر مجال أحادى.

وطبعا لا يقاس الجهد V مباشرة . ربما يمكن تحديد إتجاهات الثلاث مركبات للمجال المغناطيسى . وأيضا يمكن قياسها مباشرة من العلاقة بين الجهد المغناطيسى β (β -grad.V) ربما تمتد مركبة المجال الرأسى Z عند السطح (r=a) كسلسلة من توافق كروى معادلة (3)

$$Z = \frac{aV}{ar} - \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} P_n^m(\cos\vartheta)\left(A_n^m \cos m\phi + B_n^m \sin m\phi\right) \qquad (3)$$

ويمكن تحديد المعاملات A_n^m ، B_n^m من القيم المرصودة لـ Z بتفاضل المعادلة (3) بالنسبة لـ r ووضع a=r ، فيمكن الحصول على تعبير لمركبة مجال شعاعى (معادلة 4)

$$\frac{\partial V}{\partial r} = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} P_n^m(\cos\theta)\left\{\left[nc_n^m - (n+1)\left(1-c_n^m\right)\right]j_n^m \cos m\phi\right.$$

$$\left. + \left[ns_n^m - (n+1)\left(1-s_n^m\right)\right]K_n^m \sin m\phi\right\} \qquad (4)$$

يجب أن يتساوى معاملات كل من تعبير توافق منفصل لكل من m,n فى امتداد $\partial V/\partial r$ المعطى بواسطة معادلات 3 و 4 لذا

$$A_n^m = \left[nc_n^m - (n+1)(1-c_n^m)\right] j_n^m \qquad (5)$$
$$B_n^m = \left[ns_n^m - (n+1)(1-s_n^m)\right]$$

يمكن الحصول على امتدادات مركبات المجال الأفقى كسلسلة من توافق كروى بواسطة إعادة تفاضل المعادلة 2

$$Y_{r=a} = \left(\frac{-1}{r\sin\theta}\frac{\partial V}{\partial\phi}\right)_{r=a}$$
$$= \frac{1}{\sin\theta}\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} P_n^m(\cos\theta)\left(mj_n^m \sin\theta m\phi - mk_n^m \cos\theta m\phi\right) \qquad (6)$$
$$X_{r=a} = \left(\frac{1}{r}\frac{\partial V}{\partial\theta}\right)_{r=a}$$
$$= \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=0}^{n} \frac{d}{d\theta} P_n^m(\cos\theta)\left(j_n^m \cos m\phi + k_n^m \sin m\phi\right) \qquad (7)$$

تحتوى هذه المعدلات على معاملات J_n^m , K_n^m والتى يمكن من قيم X أو Y والتى تكون معروفة على جميع سطح الأرض من بيانات المراصد . يشتق التوافق بين المعاملات من خلال استخدام X أو Y موضحة بذلك تلاشى تعبير المجال كجهد وترى كذلك أنه لايوجد تيارات كهربية عابرة لسطح الأرض . من معرفة المعاملات J_n^m , K_n^m , A_n^m , B_n^m فإن المعادلات (5) تحدد C_n^m , S_n^m . وقد وجد جاوس Gauss من البيانات المتاحة فى ١٨٣٥ أن C_n^m , $S_n^m \approx 0$، أى أن مصدر المجال المغناطيسى الأرضى كلية داخلى . معاملات أصل المجال الداخلى $g_n^m = (1-C_n^m)\, and\; h_n^m(1-S_n^m)K_n^m$ معروف كمعاملات جاوس . فى الحقيقة، لايكون المجال الخارجى غائب كليا، حيث وجد أشتراك صغير من التيارات الكهربية فى الأيونوسفير، حيث وجد لانج وآخرين Lang et al. 1980 مجال خارجى تقريبا حوالى 20 نانتسلا (ηT) من بيانات MAGSAT يوضح جدول (1) قيم لبعض الحدود الهامة لمعاملات جاوس لبعض الأزمنة المختارة

جدول (1) تعبيرات هامة لمعاملات لجاوس – شمرت بوحدات نانتسلا (ηT) وعزم ثنائى القطب (M) لمجال أرضى لأحقاب مختارة

أحقاب	g_1^0	g_1^1	g_2^0	g_2^1	h_1^1	h_2^1	M (x 10^{22} A/m)
1835 (Gauss)	-32350	-3110	510	2920	6250	120	8.558
1885 (Sehmidt)	-31740	-2360	500	2780	5980	-720	8.375
1935 (Vestine)	-30662	-2129	-1086	2959	5792	-1460	8.088
1960 (Jensen-Cain)	-30410	-2150	-1602	2960	5600	-1912	8.025
1980 (IGRF)	-30001	-1950	-2038	3035	5634	-2136	7.968

يتضح من الجدول أنه بواسطة بعد أغلب المشاركات الهامة لـ V تأتى من حد g_1^0 والذى يتناسب مع $\rho_1^0(\theta)/r$ أى $\cos(\theta)/r^2$ وكذلك من تبعية مجال عدم مركز ثنائى القطب الموجود عند مركز الأرض والذى يتجه على طول المحور المغزلى . تتبع الإضافة للحدين المتناسبين مع $\rho_1^0(\theta)$ أو $\sin\theta$ ميل محور ثنائى القطب. تتبع الحدود الأخرى إزاحة لمحور ثنائى القطب من مركز الأرض، ويكون أحسن إتفاق لثنائى القطب للمجال الملاحظ مُزاح بحوالى 300 كم من مركز الأرض.

ويكون التغير الشمسى ظاهرة خارجة عن نتائج جدول (1)، أى أن التغير الملاحظ عبر عدة عشرات أو مئات من السنين يكون لقيم المعاملات المفردة. عامة، تظهر هذه نقصان حوالى 7% فى عزم ثنائى القطب للمجال الأرضى خلال الفترة 180-1835

ملحق 3
حسابات الشاذات المغناطيسية لأجسام رباعية قائمة بإتجاه مختار للمغناطيسية

تستخدم الألواح والمناشير الرباعية كنماذج تفسيرية فى تحليل الشاذات المغناطيسية بسبب عدة أجسام ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد (مثل السدود، أجسام سطحية طويلة وكتل الصخور النارية). تستخدم الأجسام اللوحية قائمة الزوايا لتقريب تأثيرات الفوالق الصغيرة وحدود صخور القاعدة. هنا الطريقة العامة لحساب شاذاتها مع إتجاه مغناطيسى مختار محيط بها.

يختار نظام اليد اليمنى للإحداثيات مع محاور (x_1, x_2, x_3) مشيرة لإتجاهات الشمال والشرق الجغرافى وإتجاه رأسى سفلى بالتتابع.

يعطى المجال المغناطيسى عند أى نقطة $P(x_1, x_2, x_3)$ بسبب الحجم والتمغنط $J(y_1, y_2, y_3)$ بالمعادلة التالية والمعروفة جيدا

$$B = c\ grad^2 \int_v j\,(r)^{-1} \qquad (3\text{-}1)$$

X_1

(a_1, a_2, a_3)

X_2

$P(x_1, x_2, x_3)$

$dY(y_1, y_2, y_3)$

X_3

(b_1, b_2, b_3)

شكل (3-1)

حيث $r = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2}$ and $c = \mu_0 / 4\pi$

انظر شكل (3-1)

نفرض J متساوية على جميع الجسم فإن المعادلة (3-1) يمكن كتابتها فى حدود مركبات كالأتى:

$$B_i = c\sum_{k=1}^{3} j_k T_{ik} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث

$$T_{ik} = \frac{\partial^2}{\partial x_i\, \partial x_k} \int_v \left(\frac{1}{r}\right) dV \qquad (3\text{-}3)$$

بوضح i , k = 3, 2, 1 فإن معنى J_k, B_i تكون ذاتية الإيضاح لذا

$$B_1 = c\left(j_1T_{11} + j_2T_{12} + j_3T_{13}\right)$$
$$B_2 = c\left(j_1T_{21} + j_2T_{22} + j_3T_{23}\right) \qquad (3\text{-}4)$$
$$B_3 = c\left(j_1T_{31} + j_2T_{32} + j_3T_{33}\right)$$

بسهولة من المعادلات (3-3) يمكن رؤية أن $T_{ik} = T_{ki}$ اكثر من هذا، بواسطة حقيقه معادلة لابلاس $T_{11} + T_{22} + T_{33} = 0$ لأى نقطة خارجة. لهذا، لتقدير B_3, B_2, B_1 يكفى حساب خمسة مركبات فقط (بدلا من تسعة) لشكل ثمانى مشدود تُسمى T_{23}, T_{13}, T_{12} وأى إثنين من T_{33}, T_{22}, T_{11}

حساب المركبات سالفة الذكر لـ T_{ik} لحالة منشور قائم الزوايا ليست بصعوبة إعتبارية، كذلك بتطبيق نظرية تشتت (انحراف) جاوس فإنه بسهولة يمكن تحويل تكامل الحجم الى مجموعة تكاملات سطحية والتى يصبح تقييمها بسيط نسبيا. يمكن كتابة التعبيرات النهائية الحصول عليها لحالة منشور ذو الجوانب المتوازية إلى ثلاثة محاور والممتدة من a_1 إلى a_2, b_1 الى a_3, b_2 الى b_3 بالتتابع كالآتى

$$T_{11} = \arctan\left(\frac{v_2w_2}{u_1\sqrt{w_2^2 + R_2}}\right) - \arctan\left(\frac{v_1w_2}{u_1\sqrt{w_2^2 + R_1}}\right) + \arctan\left(\frac{v_1w_1}{u_1\sqrt{w_1^2 + R_1}}\right)$$
$$-\arctan\left(\frac{v_2w_1}{u_1\sqrt{w_1^2 + R_2}}\right) + \arctan\left(\frac{v_1w_2}{u_2\sqrt{w_2^2 + R_3}}\right) - \arctan\left(\frac{v_2w_2}{u_2\sqrt{w_2^2 + R_1}}\right)$$
$$+\arctan\left(\frac{v_2w_1}{u_2\sqrt{w_1^2 + R_4}}\right) - \arctan\left(\frac{v_1w_1}{u_2\sqrt{w_1^2 + R_3}}\right) \qquad (3.5a)$$

$$T_{12} = \log\left(\frac{w_2 + \sqrt{w_2^2 + R_1}}{w_1 + \sqrt{w_1^2 + R_1}}\right) - \log\left(\frac{w_2 + \sqrt{w_2^2 + R_2}}{w_1 + \sqrt{w_1^2 + R_2}}\right)$$
$$+\log\left(\frac{w_2 + \sqrt{w_2^2 + R_4}}{w_1 + \sqrt{w_1^2 + R_4}}\right) - \log\left(\frac{w_2 + \sqrt{w_2^2 + R_3}}{w_1 + \sqrt{w_1^2 + R_3}}\right) \qquad (3.5b)$$

حيث $W_2, W_1, V_2, V_1, u_2, u_1$ قاعدة لـ $a_3 - x_3\ , b_3 - x_3\ , a_2 - x_2\ , b_2 - x_2\ , a_1 - x_1\ , b_1 - x_1$ تتابعيا و $R_4\ , R_3\ , R_2\ , R_1$ قاعدة لـ $\left(V_2^2 + u_2^2\right), \left(V_1^2 + u_2^2\right), \left(V_2^2 + u_1^2\right), \left(V_1^2 + u_1^2\right)$ تتابعيا.

تسمى $T_{13}\ , T_{22}$ تعبيرات المركبات المتبقية ويمكن الحصول على T_{23} من المعادلات السابقة (3-5) مباشرة بواسطة دوران تقريبى لنظام الإحداثيات فى كل حالة. لذلك يمكن تقييم جميع مركبات T_{ik}، أيضا يكون من السهل حساب المجال فى أى إتجاه من المعادلات (3-4) وذلك لإتجاه إختيارى لمتجه التمغنط.

فى المعالجة السابقة، يفترض توازى ثلاث جوانب من المنشور قائم الزاوية لمحاور نظام الإحداثيات فى أماكن لـ X_3, X_2, X_1 يحصل على التعبيرات لكل الحالات الممكنة لنمازج منشورية مباشرة من المعادلات المشتقة سابقا، مثل حالات النماذج المهمة الآتية:

أ) نموذج منشور رأسى عديم القاعدة، يحصل على المعادلات بسهولة من نظام معادلات (3-5) بمجرد عمل البعد الرأسى الأسفل كبير لا نهائى.

ب) تعتبر المعادلات لصفيحة أفقية رفيعة (لوح قائم الزوايا) بسيطة طالما السمك Δh صغير، لذلك يكون التكامل المقابل للمحور الرأسى غير ضرورى، تمثل المعادلات (3-6) تعبيرات لمركبات T_{ik} وتكتب كالآتى:

$$T_{11}=\frac{u_1\Delta h}{x_3^2+u_1^2}\left(\frac{v_2}{\sqrt{x_3^2+R_2}}-\frac{v_1}{\sqrt{x_3^2+R_1}}\right)-\frac{u_2\Delta h}{x_3^2+u_2^2}\left(\frac{v_2}{\sqrt{x_3^2+R_4}}-\frac{v_1}{\sqrt{x_3^2+R_3}}\right)$$

$$T_{22}=\frac{v_1\Delta h}{x_3^2+v_1^2}\left(\frac{u_2}{\sqrt{x_3^2+R_3}}-\frac{u_1}{\sqrt{x_3^2+R_1}}\right)-\frac{v_2\Delta h}{x_3^2+v_2^2}\left(\frac{u_2}{\sqrt{x_3^2+R_4}}-\frac{u_1}{\sqrt{x_3^2+R_3}}\right)$$

$$T_{33}=\frac{x_3\Delta h}{x_3^2+u_1^2}\left(\frac{v_2}{\sqrt{x_3^2+R_2}}-\frac{v_1}{\sqrt{x_3^2+R_1}}\right)-\frac{x_2\Delta h}{x_3^2+u_2^2}\left(\frac{v_2}{\sqrt{x_3^2+R_4}}-\frac{v_1}{\sqrt{x_3^2+R_3}}\right) \quad (3.5a)$$

$$T_{23}=\frac{x_3\Delta h}{x_3^2+v_1^2}\left(\frac{u_2}{\sqrt{x_3^2+R_3}}-\frac{u_1}{\sqrt{x_3^2+R_1}}\right)-\frac{x_3\Delta h}{x_3^2+v_2^2}\left(\frac{u_2}{\sqrt{x_3^2+R_4}}-\frac{u_1}{\sqrt{x_3^2+R_2}}\right)$$

$$T_{12}=\Delta h\left(\frac{1}{\sqrt{x_3^2+R_3}}-\frac{1}{\sqrt{x_3^2+R_1}}+\frac{1}{\sqrt{x_3^2+R_4}}-\frac{1}{\sqrt{x_3^2+R_2}}\right)$$

$$T_{33}=-(T_{11}+T_{22})$$

أيضا تحقق العلاقة الأخيرة من خلال تفاضل تعبير مستقل لمركبة T_{33} .

تبرمج المعادلات السابقة للوح رفيع قائم الزاوية بسهولة لحساب رقمى . تقدير اى شكل لجسم ثلاثى الأبعاد بواسطة تصفيف ملائم لمثل هذه الألواح تقريبا ناتج عن تأثيره المغناطيسى.

جـ) يمكن الحصول على معادلات الأجسام شبه اللوحية المائلة (مثل السدود والعروق) من معادلات (3.6) بمجرد دوران نظام الأحداثيات.

تعطى B_3 مباشرة بتتبع حسابات شاذات المجال من المعادلة (3.4) لشاذة المجال الرأسى ΔZ ويمكن حساب الشاذة الأفقية ΔH من B_1 , B_2 معا مع معرفة زاوية الإنحراف D للمجال المغناطيسى. وبسهولة يمكن الحصول على شاذة المجال الكلى $\Delta T << T$ من العلاقة الآتية $\Delta T = B_1 \cos D \cos I + B_2 \sin D \cos I + B_3 \sin I$

حيث D زاوية الإنحراف للمجال المغناطيسى الأرضى

I زاوية الميل للمجال المغناطيسى الأرضى

ملحق 4
قاعدة رالى لنقل الحرارة (إصعاد حرارى)

ربما يحدث إصعاد حرارى فى طبقات سوائل عندما تُسخن من أسفل حيث تعمل على انسياب حرارى علوى يزيد عن الحد الحرج.

اشتقت الكمية المعيارية للإمكانية العملية للإصعاد الحرارى فى سائل نيوتن Newtonion بواسطة ج.و.س رايلى J.W.S.Rayleigh 1916 وقد وضح رايلى أن سلوك التوصيل يعتمد على نسبة عديمة الأبعاد R (تعرف الآن كعدد رايلى) وتعطى بواسطة المعادلة الآتي:

$$R = \alpha\beta g\rho d^4 / k\eta \qquad (4\text{-}1)$$

حيث α = معامل امتداد حرارى

β = تدرج حرارى

g = عجلة الجاذبية

ρ = الكثافة

d = سمك الطبقة

k = الإنتشارية الحرارية

η = اللزوجة

بالنسبة لنظام بسيط، مثل تسخين سائل متجانس عند قاعدته، فإن بداية عدد رايلى للتوصيل تكون تقريبا (10^3) ولكن لتوصيل شديد فإن عدد رايلى (R) يجب أن يكون أكبر من $\leq 10^5$

وبإعتبار أن ستار الأرض سائل مضغوط، فإن صيغة رايلى يمكن تطبيقها بمد β بإعتبارها كفرق بين تدرج الحرارة الحقيقية والتدرج الاديباتيكى (مكظوم الحرارة أو لا تبادل حرارى) بسبب الضغط. بفرض أن القيم المعتدلة للستار العلوى ($\alpha \approx 2\times10^{-5}$ /ءْ، $\beta \approx 5\times10^{-4}$ ءْ /م، $\rho \approx 10^{-6}$ م^2 / ث، $\eta \approx 10^{20}$ با.ث) فى المعادلة (4.1) تُعطى $R \approx 9\times10^4$. فى هذا الحساب فإن التأكيد الأخير يكون لقيم β، η والتى يُحتل وجود خطأ بواسطة معامل 5 أو 1- حتى اذا كانت β أقل بواسطة معامل 5، η أكبربواسطة معامل 10، فبسهولة جدا فإن عدد رايلى (R) ستوافق حالة بداية توصيل حرارى. لهذا يتضح التوصيل الحرارى فى الستار العلوى.

للستار الكلى ($d=3\times10^6$م، تكون قيم α، ρ، g، k تقريبا نفسها للستار العلوى، ولكن قيم β، η تكون من المحتمل قريبة لـ 10^{-4} ءْ /م ، 10^{12} با.ث بالتتابع وبالتعويض فى المعادلة (4.1) بهذه القيم فإن $R \approx 5\times10^6$ أيضا، لذلك من الممكن وجود نوع من التوصيل القوى.

ملحق 5

بفرض أن تأثير الجاذبية g (y_0 , x_0) على Z = 0 (سطح الأرض) تنتج بواسطه توزيع غير معروف لكتل أسفل هذا المستوى شكل (1.5). عندئذ يكون توزيع الكتله حقيقى، ويمكن تحديد جهدها (u) وتأثير جاذبياتها (g_z) عند اى نقطة فى الفراغ الفوقى (z=<0) من المعادلات الآتية:

P(X , Y , Z)

g_u

Z = -h

Plane Z = 0

$(X_0, Y_0, 0)$

g_0

0

Z = h

g_d

شكل (5-1): تواصل علوى وسفلى لسطح جهد جاذبى (g_0)

$$\Delta Z\left(x,y,z\right)=\frac{1}{2\pi}\iint\frac{-z}{r^3}\Delta Z\left(x_0,y_0,0\right)dS \qquad (5.1)$$

$$g_z\left(x,y,z\right)=\frac{1}{2\pi}\iint g\left(x_0,y_0,0\right)\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{r}\right)dS \qquad (5.2)$$

عمليا، يحل تكامل السطح بواسطه الجمع، حيث يفترض أن تكون g $(0, y_0, x_0)$ قيمه متوسطة للجاذبية المرصودة خلال عنصر مساحى مختار ملائم ds على سطح الأرض

بالمثل، يمكن حساب المجال المغناطيسى الرأسى من بيانات شده مجاله Δg $(0 , y_0 , x_0)$ على سطح الأرض حيث يكون المجال عند سطح عالى Z بواسطه المعادلة الآتية:

$$\Delta Z\left(x,y,z\right)=\frac{1}{2\pi}\iint\frac{-z}{r^3}\Delta Z\left(x_0,y_0,0\right)dS \qquad (5.3)$$

لذلك فإن مشكلة حساب المجال عند مستوى عال (الإستمرارية لأعلى) من مجال معروف عند مستوى أسفل يكون فى إتجاه واحد من تكامل عددى لسطح النتائج ربما تكون العمليه العكسية (الإستمرارية لأسفل) تشكل مشكله لتحليل صعب وتشمل طرق مغناطيسية رياضية، ويشبه التقارب البسيط المعادلة:

$$\Delta gp=\frac{4}{s^2}\left(\Delta g_p-\overline{\Delta g}\right)$$

حيث $\overline{\Delta g}$ متوسط الشاذات المرصودة عند أقرب أربعة محطات لـ p, Δg الشاذة عند p , s المسافة الشبكية، وبإستخدام العلاقة الآتيه يمكن الوصول للإستمرارية السفلية

$$g_d=6_{g_u}-\left(g_1+g_2+g_3+g_4+g_U\right) \qquad (5.4)$$

حيث g_d قيمة الإستمرارية السفلية فى المستوى Z = h, g_0 قراءة المحطة الفوقية المباشرة لمستوى الإسناد (Z= 0) $g_1, ..., g_4$ القيم عند اركان مربع أو على الدائرة المحيطة لـ g_0، أيضا فى المستوى Z = 0 تكون قيمة g_u قيمة جاذبية التواصل العلوى مباشرة فوق g_0 فى المستوى Z = h.

ملحق 6
العمق المخترق لتذبذب درجه الحرارة السطحية

لتفسير العمق المخترق اليومى، الفصلى أو تغير لفترة طويلة فى درجة الحراره السطحية، يوخذ سطح الأرض كمستوى Z = 0 حيث يكون محور Z المتجه لأسفل موجب. لإنتشار تذبذب درجه الحرارة رأسيا فى تحت أرض متجانسه (بدون أى مصدر حرارى)، تكون المعادلة المستخدمة لبعد واح لمعامل توصيل حرارى هى:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = \frac{1}{k}\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (6.1)$$

حيث T درجه الحرارة، t= الزمن، K= الإنتشار الحرارى (انظر 10-3)

ويكون نوع حل المعادلة السابقة $T=u\,(Z)e^{iwt}$

وبالتعويض فى المعادلة (6.1) وتطابق حالات الحد الفاصل (عند سطح الأرض Z=0، T تفرض كمتغير A cos wt)، فإن الحل لـ T يكون

$$T = Ae^{-\alpha z}\cos(\omega t - \alpha z) \qquad (6.2)$$

حيث $\alpha = (W/2K)^{1/2}$

وتكون $(2K/W)^{1/2}$ هى النتيجة الطبيعية للحل لتذبذب درجة الحرارة عند السطح باضمحلال l/e لسعة الأسطح عند عمق λ .

اذا أخذت قيمة ممثلة لـ $K = K\backslash pc_p$ انظر معادلة (10-2) لسطح صخور مثل 1×6^{-10} م²/ث، تجد أن λ = 16.5سم لأى دورة تردد واحدة لكل يوم (W = يوم واحد / 2π)، λ = 3.2 سم لأى دورة تردد واحدة لكل عام (تغير سنوى)، λ = 3.2 كم لأى دورة واحدة فى 10^4 سنه.

فى حالة تردد T α A cos Wt، فإن درجة الحرارة السطحية تنتشر لأكبر وأقل لأسفل بسرعة تعطى بواسطة $(2KW)^{\Omega}$.

ويعطى التأخر الطورى للزمن (Λt) بواسطة $Z/\,(2KW)^{\Omega}$.

وكسابقا $K = 1\times6^{-10}$ م²/ث فإن أزمنة التأخر تعطى فى جدول (6-1)

جدول (6-1)

العمق	التأخر الزمنى لإختراق تذبذب درجات الحرارة		
	تغير يومى W = 2π \ يوم واحد	تغير سنوى W = 2π \ سنه واحدة	تغير طويل W = 2π \ 10⁴ سنه
Z = 1م	23 ساعة	18 يوم	5 سنه
Z = 10م	---	180 يوم	50 سنه
Z = 1كم	---	---	5000 سنه

قائمة المراجع التى استعين بها

Bibliography

أولا : كتب باللغة العربية

(أ)

1- أ. احمد شفيق الخطيب 1974: معجم مصطلحات البترول والصناعة

2- د. احمد مصطفى جودة 2003: التثاقلية والمغناطيسية

3- د. احمد محمد صبرى 1997: تيسير الجيوفيزياء

4- د. احمد محمد صبرى 1998: هذه الأرض

5- د. أمينة محمد عبدالرحيم 1970: الطبيعة الذرية

(ب)

6- د. باكيروف وآخرين (ترجمة د. سمير رياض 1970)
الأسس النظرية للبحث والتنقيب عن البترول والغاز

(ح)

7- د. حسنى حمدان 2004: مقدمة الجيولوجيا

8- د. حكمت صبحى الداغستانى 2004: مبادئ التحسس النائى وتفسيرات مرئية

(د)

9- دوبرن ميلتون (ترجمة د. اسماعيل شعبان اسماعيل وآخرين 1984)
مقدمة فى الإستكشاف الجيوفيزيانى

(ر)

10- د. رشدى سعيد 1964: جيولوجية مصر

11- د. رشدى سعيد 1982: جيولوجية النيل والدلتا

(س)

12- د. سعد الدين النقادى 1967: أسس الجيولوجيا

(ف)

13- د. فردريك هـ. لاهى (ترجمة د. فتح الله عوض وآخرين 1964): جيولوجيا الحقل

(م)

14- أ. محمد سميح عافيه 1996:
أضواء على استخراج المعدن والأحجار عبر الحضارات المصرية

15- د. محمد صبرى يوسف 1998: المياه الأرضية فى العالم العربى

16- د. محمد عزالدين حلمى – د. زكى محمد زغلول 1977: أسس بصريات المعادن

17- د. محمد عزالدين حلمى 1984: علم المعادن

18- د. محمد عزالدين حلمى 1986: جيولوجيا المعادن الإقتصادية

19- د. محمد كمال العقاد 1967: علم الصخور النارية

20- د. ملاك نصرالله مقار 1985: محاضرات فى الكهرومغناطيسية

(هـ)

21- د. هاول ويليامز وآخرين (ترجمة د. سلامة طوسون وآخرين 1971: علم الصخور

22- د.وليام هينمان (ترجمة د. حافظ شمس الدين عبدالوهاب 2002: البسيط فى الجيولوجيا

ثانيا : كتب باللغة الإنجليزية

Asquith, George B., and charles R. Gibson 1982: "Basic well log analysis for geologists", American assa ciation of petroleum geologists, Tulso, OKla

Bacon, M., Simm, R., Reds, T. 2003: "3-D seismic interpretation", Combridge Univ. Press

Badely, M.E 1985: "Practcal seismic interpretation", IHRDC

Barry, K.M., 1967: "Delay time and its application to refraction profile interpretation", "Seismic refraction prospecting", Soc. Of exploration geophysics, Tulsa, Okla

Bird, J.M. 1980: "plate tectonics", 2nd Ed., Am. Geophys. Union. Washington, D.C.

Braddick, H.J.J. 1965: "Vibrations, waves and diffraction", Mc Graw-Hill, New York

Claerbout, J. F. 1976: "Fundamentals of Geophysical Data Processing", New York. Mc Graw-Hill

Clark, Sydney P., Jr.(ed) 1996: "Handbook of geophysical constants", Rev., ed., Geol., Soc., Am., Mem., 97, New York

Coffeen, J.A. 1984: "Inerpreting seismic data", Penn well publishing com.

Condie, K., C., 1982: "Plate tectonic and crustal evoluation", Pergamon Press, New York.

David, A. 1995: "Geophysical survey in Archaeological Field Evaluation", Research and Proffessional Services Guid Line no1 London. English Heritage

David Keith todd 1980: "Ground water hydrology", 2nd ed. John wiley & Sans New York

Dix, C. H. 1952: "Seismic prospecting for oil", Harper and Brothers, New York

Dobrin, M.B. and Sovit, C.H. 1988: "Introduction to geophysical exploration", 4th ed., MC. Grawhill Book Co.

Dohr, Gerhad 1974: "Applied geophysics", Enke, Stuttgrat, Germany.

Edwin S. Robinson, Cahit, Corouh 1988: "Basic exploration geophysics", Johi wiley and sans, New York chichester Brisbane, Tronto Singapore

Faure, G. 1977: "Principles of isotope geology", John willey, New York

Fitch, A.A., 1976: "Seismic reflection interpretation", Berlin, Gebruder Borntraeger

Garland, G.D. 1965: "The earth's shope and gravity", Pergamon, OxFord.

Garland, G.D. 1979: "Introduction to geophysics", W.B. Sounders Co., Philadelphia

Grand, F.S., and G.F. west 1965: "Interpretation theory in applied geophysics", Mc graw Hill, New York.

Green, W.B. 1983: "Digital image processing", New York: van Nostrand Trinhold.

Griffiths, D.H. and king, R.E. 1981: "Applied geophysics for gedogists and engineers", Ox Ford: Pergamon

Gubbins, D. 1990: "Seismology and Plate Tectonics", Cambridge Univ. Press

Gupta, H.K., 1980: "Geothermal Tesources: An energy alternative", Elsevier, Amstrdam.

Gatenberg, B. 1959: "Physics of the earth's interior", Academic Press, New York, P.104

Hardaye, B.A. 1985: "Vertcal seismic profiling", Part A: Principles" 2nd (emlarged) edn., London: geophysical Press.

Hatton pl., Worthington, M.H. and Making, J. 1986: "Seismic data processing: Theory and practice", OxFord: Blackwell Scientific.

Heihes, R.R. and Ure, R.W. 1961: "Thermoelectricity: science and engineering", New York: Interscience

Howeil, B.F. 1990: "An introduction to seismological research, history and development", Cambridge: Cambridge Univ. Press

Itenberg, S.S. 1971: "study of oil and gas series from well logs", Mir publishers, Moscow.

Jacobs, J.A. 1992: "Deep interior of the earth", London: Chapman & Hill

Jakosky, J.J. 1950: "Exploration geophysics", Trija puplishing Co., Los Angelos

Jennison, R.C. 1961: "Fourier Transforms and Convolutions for Experrim entalist" , Pergam, London.

John Milson 1996: "Field geophysics", John wiley & Sans, New York

Kanasewich, E.R. 1973: "Time sequence analysisin geophysics", Edmonton, Unv. Of Alberta Press

Karmer, F.S., Peterson, R.A., and Walter 1968: "Seismic Energy Sources HandBook", Bendix United Geophysical Corporation, Pasadena, Calif.

Kaufmann, A.A. and keller, G.V. 1981: "The magnetatelluric sounding method", Elsevier New York

Kearey, P. and Brooks, M. 1991: "An Introduction to Geophysical Exploration", 2nd edu. OxFord: Blackwell Scientific

Kearey, P. and Vine, F.J. 1990: "Global Tectonics", OxFord: Balckwell Scietific

Keller, G.V. and Frischknecht, F.C. 1966: "Electrical methods in geophysical prospecting", Pergamon Press.

Koefoed, O., 1979: "Geosounding principles", Elsevier, Amsterdam.

Kulhaneck, O., 1971: "Introduction to digital filtering in geophysics", Amsterdam, Elsevier

Labo, J., A. 1986: "A practical introduction to borechole geophysics", Society of exploration geophysicists, Tulso, Okla.

Le Pichon, X., Francheteaw, J. and Bonnin, J. 1973: "Plate tectonics", Elsevier, Amsterdam

Lindsely, D.H., Andreasen, G.E and Balsley, J. R. 1966:"Magnetic properties of rocks and Mineral", Handbook of physical constants.

Lynch Edward, J.1962: "Formation evaluation", Harper and row, New York

McElhinny , M.W.1973: "Palaemagnetism and plate Tectonico", Cambridge unv .press

mcQuillin ,R.m.bacon,m.,and Barclay ,w.,1984: "An Introduction to seismic Interpretation", London graham & Trotman .

Merrill, R.T. and mcElhinny, M.w.,1983: "The earth's magnetic field", Acadimic Press, London

Milson,J.1989: "Field geophysics", Milton Keyenes; Open univ. Press

Moony, H.m.1965: "handbook of engneerring geophysics", Mineapolis, Bison instrumento

Moony,h.m. and Wetzel, W.W.1956: "Thepotential about a point Electrode", Minnesota: unv. Of minnesotapres

Nagata, t.1961: "Rock magnetism", 2nd edn. Tokyo: Maruzen

Nettelton , I.I. 1940: "geophysics prospecting for Oil Exploration", New York ,mcGraw-Hill.

Norman ,H., and Kazuya 1977: "geochronology", Blackwell Science. Fujita.

O' Reily , W.1984: "Rock and Mineral Magnetism", Glasgow: Blackie

Parasnis,D.S.1973: "Mining Geophysics", Amsterdam :Elsevier

Parasnis, D.S.1986: "Principles of Applied Geophysics", 4th edn. London :Chapman & Hill

Pehlinger,D.1978: "Marine gravity", Elsevier, Amsterdam.

Pikitake, T.1966: "Electromagnetic and Earth's Interior", Elsevier, North-Holland.

Pirson,S.J. 1963: "Handbook of well log analysis", Prenatic ñhill Englewood Cliffs, N.J.

Rider,M.H.,1981: "The Geological Interpretation of Well Logs", John Wiley and sons inic New York

Nagata,T.1961: "Rock Magnetism", 2nd edn. Tokyo: Maruzen

Nettelton, L.L. 1976: "Geophysical Prospecting for Oil", New York :Mc Graw ñHill

Nettelton,L.L.1976: "Gravity and Magnetics in oil Explration", New York :Mc Graw ñHill

Norman,H.,and Kazuya 1977: "Geochronology", Blackwell Science ,Fujita.

O' Reily ,W.1984: "Rock and Mineral Magnetism", Glasgow : Blacie

Parasnis ,D.S.1973: "Mining Geophysics", Amsterdam: Elsevier

Parasnis,D.S. 1986: "Principles of Applied Geophysics", 4th edn. London: Chapman & Hill

Pehlinger, D. 1978: "Marine gravity", Elsevier, Amsterdam.

Pikitake,T.1966: "Electromagnetic and Earth's Interior", Elsevier, North-Holland.

Pirson,S.J.1963: "Handbook of well log analysis", Prentic ñHill Englewood Cliffs, N.J.

Rider,M.H.,1981: "the Geological Interpretation of well Log", John Wiley and sons inic New York

Riktak, T.1976: "Earthquake Preduction", Amsterdam Elsevier

Robinso, E.A.1967: "Multichannel Time Series Analysis with Digital Computer Programs", San Francisco, Hplden- Day

Robinson, E.A. and S. treitel 1980: "Geophysical Signal Analysis", Englewood Cliffs, N.J., Prentic-Hill.

Runcorn, S.K. (ed) 1960: "Methods and Techniques in Geophysics", Interscience, New York.

Rybeck, L. and Muffer, L,J.P. 1981: "Geothermal systems :principles and case Histories", John Wiley, New York.

Savararensky, E.1975: "Seismic Waves, Translated from the Russian by Petrosyn, A.", Mirpublishers, Moscow.

Schlumberger 1984: "Well Evaluation Conference", Egypt.

Swnbnsh, R.L. 1983: "Seismic Exploration Methods", Boston, IHRDC.

Sharma.P.1986: "Geophysical Methodsim Geology", Amsterdam, Elsevier

Sheriff, R.E. 1980: "seismic Stratigraphy", IHRD, Boston, U.S.A.

Sheriff, R.E and Geldart ,L.P.1982: "Exploration Seismology", Vol. 1 Cambridge: Cambridge Unv. Press

Sjogren , B.1984: "Shallow Refraction Seismics", London: Chapman & Hill

Sleep ,N.H. and Fujita ,K.1997: "principle of Geophysics", Blackwell science.

Spoleto, Tongiorgi E (ed) 1963: "Nuclear Geology on geothermal area", Laboratorio di geologica nuclear ñPisa

Stacey, F.D and Banerjee S.K. 1974: "The physical principles of Rock Magnetism", Amsterdam, Elsevier

Stangway, D.W. 1970: "History of the Earth's Magnetism field", Mcgraw ñhill, New York.

Strling ,S.G. and woodall, A.J.1957: "physics (2nd ed.)", Longmous, Green and co.,London

Summer, J.S.1976: "principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration", Elsevier, Amsterdam.

Tagg, G.F 1964: "Earth rwsustance", Geogre Newnes Ltd. London

Tarling, d.h 1983: "Paleomagnetism", London, Chapman & Hill

Telford, W.M. L.P.Geldart,R.E. sheriff and D.A. keys 1993: "Applied Geophysics", 2nd edition Cambridge Unv. Press.

Verma, R.K.1980: "Master Tables of Electromagnetic Deph Sounding Interpretation", Plemum Publishers, New York.